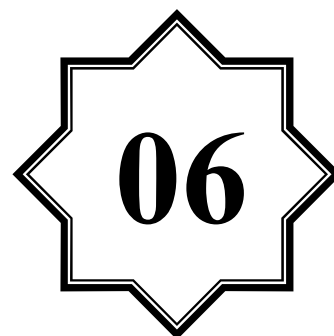


عصر نظري و تمارين

من التطورات الرتبة ٥

مراقبة تطور جملة كيميائية



الشعب : علوم تجريبية
رياضيات ، تقني رياضي

www.sites.google.com/site/faresfergani

السنة الدراسية : 2015/2014

المحتوى المفاهيمي : 01

مفاهيم أساسية في الكيمياء العضوية

● تعريف المركبات العضوية :

- تشمل المركبات العضوية كل المركبات التي مصدرها كائن حي بالإضافة إلى بعض المركبات التي تصنع في المخابر و لها نفس ميزات المركبات ذات المصدر كان حي .
- تتميز المركبات العضوية بعدة مميزات أهمها :
 - كل المركبات العضوية هي مركبات جزيئية .
 - كل المواد العضوية قابلة للإحتراق بالأكسجين أو الهواء ، فتعطي غاز ثاني أكسيد الكربون و بخار الماء ، كما تعطي موادا أخرى أحيانا مثل غاز الكلور ، غاز الأزوت
 - كل المركبات العضوية تحتوي على عنصر الكربون ، كما يدخل في تركيبها أيضا من العناصر ، حسب درجتها في تكوين هذه المشتقات ، و أهم هذه العناصر نذكر : الهيدروجين ، الأوكسجين ، الأزوت

● أصناف المركبات العضوية :

- نظرا لكثرة عدد المركبات العضوية، و الذي يتزايد يوما بعد يوم ، فقد قسمت لتسهيل دراستها، إلى فئات رئيسية حسب تركيبها العنصري و أهم هذه الفئات هي:
 - الفحوم الهيدروجينية:
- هي المركبات العضوية التي تحتوي فقط على عنصري الكربون و الهيدروجين صيغتها الجزيئية العامة هي :



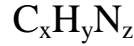
■ المركبات العضوية الأكسجينية:

- هي المركبات التي تحتوي على عناصر الكربون و الهيدروجين ، و الأكسجين صيغتها الجزيئية العامة هي :



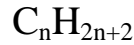
المركبات العضوية الآزوتية :

- هي المركبات العضوية الآزوتية التي تحتوي على عناصر الكربون ، الأكسجين ، الآزوت ، صيغتها الجزيئية العامة هي:



• الألكانات:

- الألكانات هي فحوم هيدروجينية مشبعة ، ذات سلسلة كربونية خطية (غير متفرعة) ، صيغتها الجزيئية العامة تكون من الشكل :

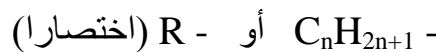


حيث: n عدد طبيعي ، مثل: CH_4 ، C_2H_6 ، C_3H_8

- يشتق إسم الألكان ذو السلسلة الكربونية الخطية (غير المتفرعة) بإضافة الحرفين " ان " إلى الإسم الموافق لعدد ذرات الكربون التي يحتوي عليها الجزيء باللغة اليونانية، كما مبين في الجدول التالي:

n	ما يوافق (n) باليونانية	الصيغة الجزيئية	الإسم
1	ميث	CH_4	الميثان
2	إيث	C_2H_6	الإيثان
3	برب	C_3H_8	البروبان
4	بوت	C_4H_{10}	البوتان
5	بنت	C_5H_{12}	البنتان
6	هكس	C_6H_{14}	الهكسان
7	هبت	C_7H_{16}	الهبتان
8	أوكت	C_8H_{18}	الأوكتان
9	نود	C_9H_{20}	النونان
10	ديك	$C_{10}H_{22}$	الديكان

- عند نزع ذرة هيدروجين واحدة من جزيء ألكان نحصل على ما يسمى بالجذر الألكيلي ، و هذه الجذور لا توجد بشكل طليق، و إنما نجدها مرتبطة بالسلسلة الكربونية لجزيء المركب العضوي ، يرمز للجذر الألكيلي بـ: R و صيغته الجزيئية العامة من الشكل :



- يشتق إسم الجذر الألكيلي من الألكان الموافق بنزع النهاية " ان " من اسم الألكان و تعويضها بـ " يل " .

أمثلة :

الألكان C_nH_{2n+2}	الجذر الألكيلي $(C_nH_{2n+1}-)$
الاسم	الاسم
الميثان CH_4	الميثيل CH_3-
الإيثان C_2H_6	الإيثيل C_2H_5-
البروبان C_3H_8	البروبيل C_3H_7-

- لتسمية الألكانات في حالة سلسلة كربونية متفرعة نتبع الخطوات التالية:

- نختار أطول سلسلة كربونية و التي تعتبر السلسلة الرئيسية .
- نرقم هذه السلسلة من الطرف إلى الطرف ، ابتداء من ذرة الكربون الأقرب إلى أول تفرع .
- نكتب اسم الجذر الألكيلي (أو الجذور الألكيلية) المرتبط بالسلسلة الكربونية ، و نسبقه برقم (أو أرقام) ذرة الكربون المرتبط بها ، (ترتب الجذور وفق ترتيب الحروف الأبجدية اللاتينية في حالة وجود عدة جذور) ، بعد ذلك نكتب اسم الألكان (الخطي) الذي يكون فيه عد ذرات الكربون مساوي لعدد ذرات كربون السلسلة الرئيسية (الأطول)
- إذا كان يتصل بالسلسلة الكربونية المرقمة عدة جذور ألكيلية متشابهة نستعمل كلمة " ثنائي " في حالة جذرين متشابهين و كلمة " ثلاثي " في حالة ثلاث عناصر أو جذور متشابهة و هكذا.

● الكحولات :

- الكحولات هي مركبات عضوية أكسجينية تتميز بوجود مجموعة هيدروكسيل $(-OH)$ (أو أكثر) مرتبطة بذرة كربون رباعية ، صيغتها الجزيئية العامة تكون من الشكل :

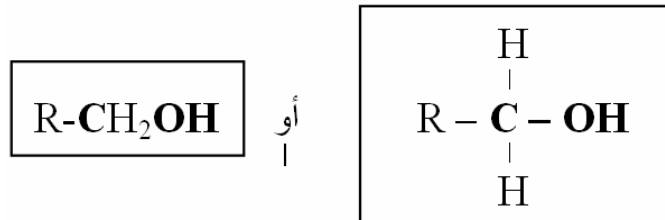


حيث : $(R-)$ هو جذر ألكيلي صيغته العامة : $(C_nH_{2n+1}-)$.

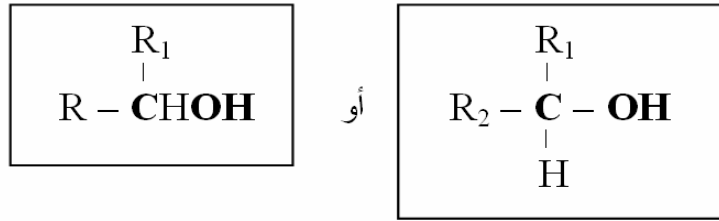
- إن مجموعة الهيدروكسيل $(-OH)$ هي المجموعة المميزة للكحولات ، تسمى بـ **المجموعة الوظيفية الكحولية** .
- تسمى ذرة الكربون الحاوية على مجموعة الهيدروكسيل $(-OH)$ (المجموعة الوظيفية) بـ **الكربون الوظيفي** .
- يشترك اسم الكحول أحادي الوظيفة من اسم الألكان الذي له نفس الهيكل الكربوني ، بإضافة المقطع (ول) ، إلى نهاية هذا الاسم ، مع إعطاء أصغر رقم ممكن للكربون الوظيفي عند ترقيم السلسلة الكربونية الأطول ، و يكون ترتيب الجذور حسب ترتيب الحروف الأبجدية اللاتينية .
- تصنف الكحولات إلى ثلاث أصناف رئيسية حسب موقع المجموعة $(-OH)$ في السلسلة الكربونية كما يلي :

الكحولات الأولية:

و هي الكحولات التي يكون فيها الكربون الوظيفي مرتبط بذرتين هيدروجين و جذر ألكيلي واحد، أو مرتبط بثلاث ذرت هيدروجين (ذرة هيدروجين بدل الجذر الألكيلي) ، ومنه فالصيغة الجزيئية العامة للكحولات الأولية تكون كما يلي :

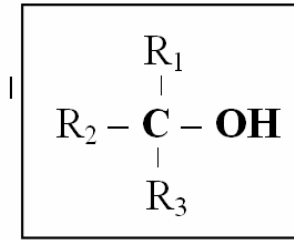
الكحولات الثانوية :

و هي الكحولات التي يكون فيها الكربون الوظيفي مرتبط بذرة هيدروجين و جذرين ألكيلين ، و منه فالصيغة الجزيئية العامة للكحولات الثانوية تكون كما يلي :



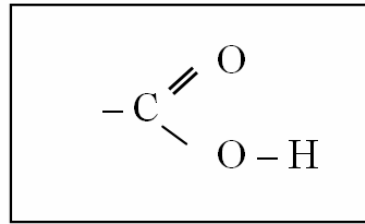
الكحولات الثالثة :

و هي الكحولات التي يكون فيها الكربون الوظيفي مرتبط بثلاث جذور ألكيلية ، و منه فالصيغة الجزيئية العامة للكحولات الثالثة تكون كما يلي :

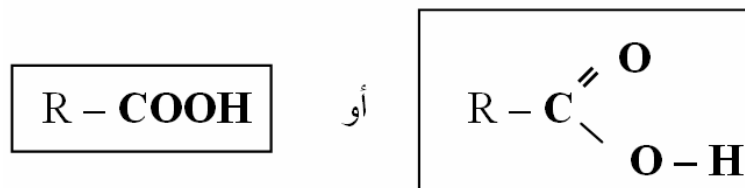


• الأحماض الكربوكسيلية :

- الأحماض الكربوكسيلية ، هي مركبات عضوية أكسجينية ثنائية الأكسجين ، يحتوي جزيء كل منهما على المجموعة الوظيفية التالية و التي تسمى المجموعة الوظيفية الحمضية الكربوكسيلية .



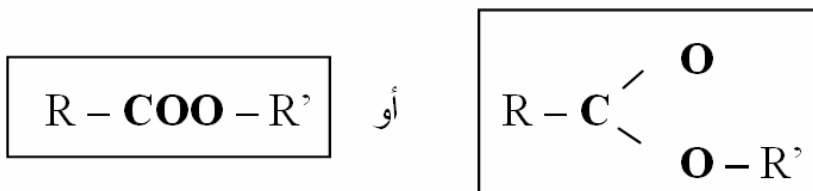
و هذه المجموعة تكون مرتبطة في جزيء الحمض الكربوكسيلي بجذر ألكيلي R- ، و منه تكون الصيغة الجزيئية العامة للأحماض الكربوكسيلية من الشكل :



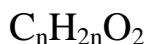
- تسمى ذرة الكربون الحاوية على المجموعة الوظيفية الحمضية الكربوكسيلية (COOH-) بـ الكربون الوظيفي .
- يشتق إسم الحمض الكربوكسيلي من إسم الألكان الموافق له ، بإضافة المقطع (ويك) ، إلى نهاية هذا الإسم ، مع اختيار أطول سلسلة كربونية تحتوي على مجموعة الكربوكسيل ، و إعطاء الرقم (1) للكربون الوظيفي .

• الأسترات :

- الأسترات ، هي مركبات عضوية أكسجينية صيغتها الجزيئية من الشكل :



- تسمى ذرة الكربون الحاوية على المجموعة الوظيفية الكربوكسيلية (-COO-) بـ الكربون الوظيفي .
 - تتميز الأحماض الكربوكسيلية و الأسترات بنفس المجموعة الوظيفية و هي المجموعة الوظيفية الكربوكسيلية ، كما أن لها نفس الصيغة الجزيئية المجملة التالية :



- يتكون إسم الأستر $R-\text{COO}-R'$ من حدين :
الحد الأول :

يشترك من إسم الألكان الموافق للمجموعة $R-\text{COO}-$ ، بإضافة الأحرف (وات) . مع اختيار أطول سلسلة كربونية تحتوي على مجموعة الكربوكسيل ، و إعطاء الرقم (1) للكربون الوظيفي .

الحد الثاني :

نحصل عليه بكتابة إسم الجذر الألكيلي R' .

خلاصة لتسمية بعض المركبات العضوية و أصناف الكحولات

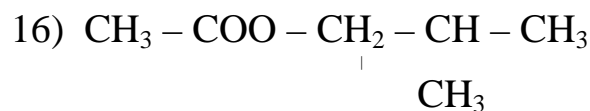
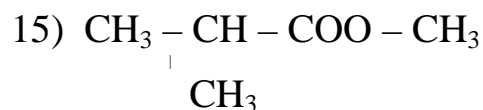
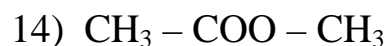
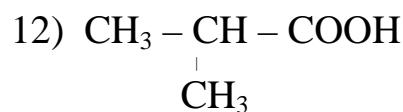
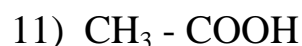
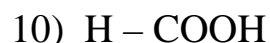
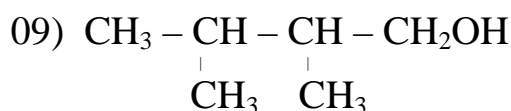
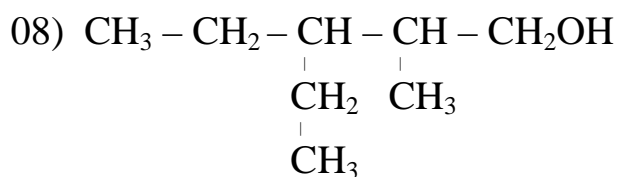
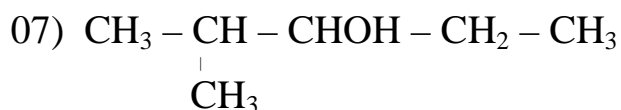
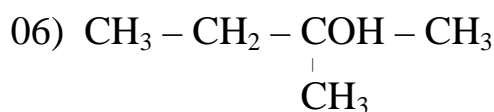
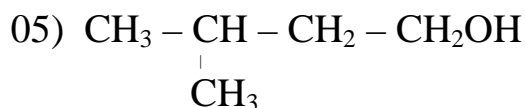
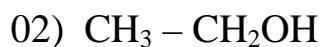
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
ديك	نون	أوكت	هبت	هكس	بننت	بوت	بروب	إيث	ميث
dec	non	oct	hpt	hex	pent	but	prop	éth	méth

الصيغة العامة	الأستر $C_nH_{2n}O_2$	الحمض الكربوكسيلي $C_nH_{2n}O_2$	الكحول : $C_nH_{2n+2}O$
المجموعة الوظيفية	$R - \overset{\overset{O}{\parallel}}{C} \begin{matrix} \diagup \\ \diagdown \end{matrix} \begin{matrix} O - R' \end{matrix}$	$R - \overset{\overset{O}{\parallel}}{C} \begin{matrix} \diagup \\ \diagdown \end{matrix} \begin{matrix} O - H \end{matrix}$	$\begin{matrix} H \\ \\ R - C - OH \\ \\ H \end{matrix}$
الصيغة نصف المفصلة	$R - \underbrace{COO}_{\swarrow \searrow} - R'$	$R - COOH$	$R-CH_2OH$
التسمية	ألكانات الألكيل	حمض الأكانويك	ألكان-x-ول

		كحول ثالثي	كحول ثانوي	كحول أولي
أصناف الكحولات	مفصلة	$\begin{matrix} R_1 \\ \\ R_2 - C - OH \\ \\ R_3 \end{matrix}$	$\begin{matrix} R_1 \\ \\ R_2 - C - OH \\ \\ H \end{matrix}$	$\begin{matrix} H \\ \\ R - C - OH \\ \\ H \end{matrix}$
	نصف مفصلة		$\begin{matrix} R_1 \\ \\ R - CHOH \end{matrix}$	$R-CH_2OH$

التمرين (1) :

أكتب إسم المركبات العضوية ذات الصيغ الجزيئية نصف المفصلة التالية :



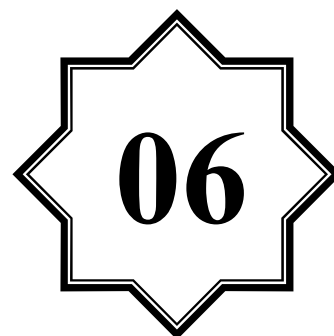
**الأجوبة :**

- (01) ميثانول (كحول أولي) .
- (02) إيثانول (كحول أولي) .
- (03) بروبان-1-ول (كحول أولي) .
- (04) بروبان-2-ول (كحول ثانوي) .
- (05) 3-ميثيل بوتان-1-ول (كحول أولي) .
- (06) 2-ميثيل بوتان-2-ول (كحول ثالثي) .
- (07) 2-ميثيل بنتان-3-ول (كحول ثانوي) .
- (08) 3-إيثيل ، 2-ميثيل بنتان-1-ول .
- (09) (3،2) ثنائي ميثيل بوتان-1-ول .
- (10) حمض الميثانويك أو (حمض كربوكسيلي) .
- (11) حمض الإيثانويك أو (حمض كربوكسيلي) .
- (12) حمض 2-ميثيل بروبانويك (حمض كربوكسيلي) .
- (13) ميثانات الميثيل (أستر) .
- (14) إيثانات الميثيل (أستر) .
- (15) 2-ميثيل بروبانوات الميثيل (أستر) .
- (16) إيثانات ، 2-ميثيل بروبييل (أستر) .
- (17) 2-ميثيل بروبانوات ، 2-ميثيل بروبييل (أستر) .

عروض نظرية و تمارين

من التطورات الحديثة

مراقبة تطور جملة كيميائية



الشعب : علوم تجريبية
رياضيات ، تقني رياضي

www.sites.google.com/site/faresfergani

السنة الدراسية : 2014/2015

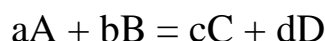
المحتوى المفاهيمي : 02

جهة التطور التلقائي لجملة كيميائية

جهة التطور التلقائي لجملة كمائية

• تذكير بكسر التفاعل Q_r :

في التحول الكيميائي الذي تدخل فيه الأنواع الكيميائية A ، B ، C ، D و المنذج بالمعادلة التالية :



في لحظة t من التفاعل ، نعرف كسر التفاعل الذي يرمز له بـ Q_r و هو بدون وحدة بالعلاقة :

$$Q_r = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

- في وسط تفاعلي مائي ، لا يدخل في عبارة كسر التفاعل Q_r المذيب و كل نوع كيميائي غازي أو صلب أي يعوض كل من المذيب (الماء) و تركيز النوع الكيميائي الغازي أو الصلب في عبارة كسر التفاعل Q_r بالقيمة 1 .
- كسر التفاعل ليس له وحدة .

• التطور التلقائي لتحول كيميائي :

يمثل كسر التفاعل Q_r معيار لتحديد و توقع اتجاه تطور جملة كيميائية فإذا كان :

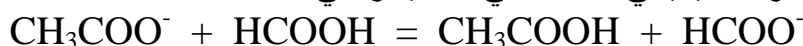
- $Q_{ri} = K$: الجملة لا تتطور فهي في حالة التوازن .
- $Q_{ri} < K$: الجملة تتطور في الاتجاه المباشر لمعادلة التفاعل .
- $Q_{ri} > K$: الجملة تتطور في الاتجاه المعاكس لمعادلة التفاعل .

التمرين (1) :

نأخذ ثلاث بياشر A ، B ، C و نضع فيها المحاليل المذكورة في الجدول الآتي و التي لها التراكيز المولية نفسها $C = 0.1 \text{ mol/L}$. بعد الرج و الاستقرار نقيس pH كل خليط و ندون النتائج في نفس الجدول .

	البياشر	A	B	C	Ka
01	$V_1(\text{mL})$ محلول إينوات الصوديوم ($\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{Na}^+$)	10	1	1	
02	$V_2(\text{mL})$ محلول حمض الميثانويك HCOOH	10	5	1	$\text{Ka}_1 = 1.8 \cdot 10^{-4}$
03	$V_3(\text{mL})$ محلول حمض الإيثانويك CH_3COOH	10	20	10	$\text{Ka}_2 = 1.8 \cdot 10^{-5}$
04	$V_4(\text{mL})$ محلول ميثانوات الصوديوم HCOONa	10	10	1	
	pH	4.2	3.7	3.8	

معادلة التفاعل المنمذج للتحويل الكيميائي الحادث في كل بياشر هي :



- 1- أكتب عبارة كسر التفاعل Q_r .
- 2- أحسب ثابت التوازن الكيميائي لهذا التفاعل .
- 3- بين أن كسر التفاعل الابتدائي Q_{ri} يعبر عنه بالعلاقة :

$$Q_{ri} = \frac{V_3 \cdot V_4}{V_1 \cdot V_2}$$

- 4- أحسب كسر التفاعل الابتدائي Q_{ri} و استنتج جهة تطور الجملة الكيميائية في كل مزيج .

الاجوبة :

- 1- عبارة كسر التفاعل :

$$Q_r = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{HCOO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{HCOOH}]}$$

- 2- ثابت التوازن K :
عند حدوث التوازن يكون :

$$K = Q_{rf} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]_f \cdot [\text{HCOO}^-]_f}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]_f \cdot [\text{HCOOH}]_f}$$

نضرب و نقسم على $[\text{H}_3\text{O}^+]$ نجد :

$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]_f}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]_f \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_f} \cdot \frac{[\text{HCOO}^-]_f \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_f}{[\text{HCOOH}]_f} = \frac{1}{K_{a2}} \cdot K_{a1}$$

$$K = \frac{K_{a1}}{K_{a2}} \rightarrow K = \frac{1.8 \cdot 10^{-4}}{1.8 \cdot 10^{-5}} = 10$$

3- عبارة كسر التفاعل الابتدائي :

$$Q_{ri} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]_i \cdot [\text{HCOO}^-]_i}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]_i \cdot [\text{HCOOH}]_i}$$

$$Q_{ri} = \frac{\frac{n_i(\text{CH}_3\text{COOH})}{V_s} \cdot \frac{n_i(\text{HCOO}^-)}{V_s}}{\frac{n_i(\text{CH}_3\text{COO}^-)}{V_s} \cdot \frac{n_i(\text{HCOOH})}{V_s}} = \frac{n_i(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot n_i(\text{HCOO}^-)}{n_i(\text{CH}_3\text{COO}^-) \cdot n_i(\text{HCOOH})}$$

$$Q_{ri} = \frac{C_3 V_3 \cdot C_4 V_4}{C_1 V_1 \cdot C_2 V_2}$$

و كون أن تراكيز المحاليل متساوية أي :

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C$$

يصبح :

$$Q_{ri} = \frac{V_3 \cdot V_4}{V_1 \cdot V_2}$$

4- قيمة Q_{ri} في كل مزيج و جهة تطور الجملة :
المزيج A :

$$Q_{ri} = \frac{10 \cdot 10}{10 \cdot 10} = 1$$

نلاحظ أن $Q_{ri} < K$ ، نستنتج أن الجملة تتطور في الاتجاه المباشر ، أي في جهة تشكل الأستر .
المزيج B :

$$Q_{ri} = \frac{20 \cdot 10}{1.5} = 40$$

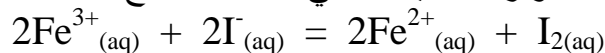
نلاحظ أن $Q_{ri} > K$ ، نستنتج أن الجملة تتطور في الاتجاه المعاكس ، أي في جهة تشكل الحمض .
المزيج B :

$$Q_{ri} = \frac{10 \cdot 1}{1.1} = 10$$

نلاحظ أن $Q_{ri} = K$ ، نستنتج أن الجملة لا تتطور في أي اتجاه .

التمرين (2) :

نعتبر تفاعل شوارد اليود I^- بواسطة شوارد الحديد الثلاثي Fe^{3+} بالمنذج بالمعادلة الكيميائية التالية :



حيث ثابت التوازن الكيميائي لهذا التفاعل هو : $K = 1.2 \cdot 10^5$ في الاتجاه المباشر .
 نمزج في 1L حجم V_1 من محلول كبريتات الحديد الثلاثي يحتوي على 0.1 mol من شواراد الحديد الثلاثي Fe^{3+} مع حجم V_2 من محلول يود البوتاسيوم يحتوي على $5 \cdot 10^{-2}$ mol من شوارد اليود I^- مع حجم V_3 من محلول كبريتات الحديد الثنائي يحتوي على 0.1 mol من شوارد الحديد الثنائي Fe^{2+} مع حجم V_4 من محلول اليود يحتوي على $5 \cdot 10^{-4}$ mol من اليود I_2 المنحل .
 • حدد جهة تطور الجملة .

الأجوبة :

تحديد جهة تطور الجملة :

نحسب كسر التفاعل الابتدائي Q_{ri} .

$$Q_r = \frac{[Fe^{2+}]^2 \cdot [I_2]}{[Fe^{3+}]^2 \cdot [I^-]^2}$$

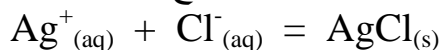
كون أن حجم الوسط التفاعلي هو 1L تكون كميات المادة للأنواع الكيميائية في الجملة مساوية لتراكيزها و عليه يمكن كتابة :

$$Q_r = \frac{n_i(Fe^{2+})^2 \cdot n_i(I_2)}{n_i(Fe^{3+})^2 \cdot n_i(I^-)^2} \rightarrow Q_r = \frac{(0.1)^2 \cdot (5 \cdot 10^{-4})}{(0.1)^2 \cdot (5 \cdot 10^{-2})^2} = 0.2$$

نلاحظ أن $Q_{ri} < K$ ، نستنتج أن الجملة تتطور في الاتجاه المباشر .

التمرين (3) :

نعتبر تفاعل شوارد الفضة Ag^+ و شوارد الكلور Cl^- النمذج بالمعادلة الكيميائية التالية :



ثابت التوازن لهذا التفاعل هو : $K = 5.6 \cdot 10^9$.

نمزج في 1L حجم V_1 من محلول نترات الفضة يحتوي على 10^{-6} mol من شوارد الفضة Ag^+ مع حجم V_2 من محلول كلور الصوديوم يحتوي على 10^{-6} mol من شوارد الكلور Cl^- .
 • حدد جهة تطور الجملة .

الأجوبة :

تحديد جهة تطور الجملة :

نحسب كسر التفاعل الابتدائي Q_{ri} .

$$Q_r = \frac{1}{[Ag^+] \cdot [Cl^-]}$$

كون أن حجم الوسط التفاعلي هو 1L تكون كميات المادة للأنواع الكيميائية في الجملة مساوية لتراكيزها و عليه يمكن كتابة :

$$Q_r = \frac{1}{n_i(Ag^+) \cdot n_i(Cl^-)}$$

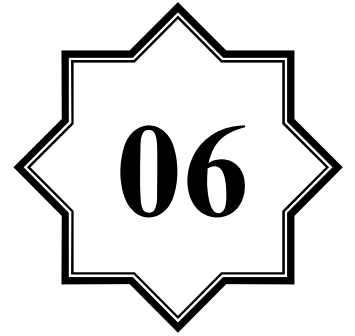
$$Q_r = \frac{1}{10^{-6} \cdot 10^{-6}} = 10^{12}$$

نلاحظ أن $Q_{ri} > K$ ، نستنتج أن الجملة تتطور في الاتجاه المعاكس أي في جهة تفاعل كلور الفضة .

عمر بنظري و تمارين

من التطورات الرتبة ٥

مراقبة تطور جملة كيميائية



الشعب : علوم تجريبية
رياضيات ، تقني رياضي

www.sites.google.com/site/faresfergani

السنة الدراسية : 2015/2014

03

المحتوى المفاهيمي :

جهة التحول التلقائي

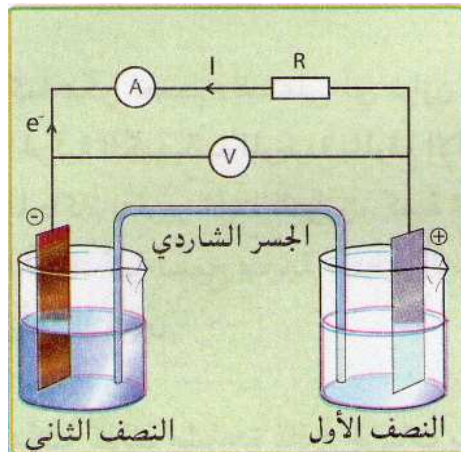
تطبيق : الأعمدة الكهربائية
(خاص بالشعب الرياضية فقط)

• تعريف التحول التلقائي :

التحول الكيميائي التلقائي هو تحول كيميائي يحدث بشكل عفوي من دون تأثير خارجي .

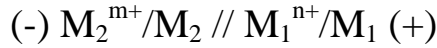
• تركيب العمود :

- يتشكل العمود من نصفين : الأول يتكون من صفيحة معدنية لمعدن M_1 مغموسة في محلول يحتوي على شوارد هذا المعدن M_1^{n+} ، و الثاني يتكون من صفيحة معدنية لمعدن آخر M_2 مغموسة في محلول يحتوي على شوارد هذا المعدن M_2^{m+} ، و هذين النصفين موصولين ببعضهما بواسطة جسر ملحي (شاردي) .



• الرمز الاصطلاحي للعمود :

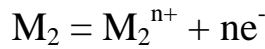
إذا كان المسرى M_1 هو القطب الموجب للعمود و المسرى M_2 هو القطب السالب يرمز اصطلاحيا لهذا العمود كما يلي :



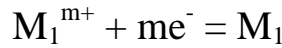
و نشير هنا إلى أن القطب الموجب يكون دوما على اليمين و القطب السالب على اليسار .

• تطور الجملة الكيميائية في العمود خلال اشتغاله :

- عند اشتغال العمود ، التحول الكيميائي الذي يحدث ينمذج بتفاعل يرفق بثابت توازن K فكلما كان كسر التفاعل $Q_r < K$ كلما أنتج العمود تيارا كهربائيا و عندما تصل حالة الجملة الكيميائية إلى التوازن ($Q_r = K$) ، تنعدم شدة التيار الكهربائي و يتوقف العمود الكهربائي عن الإشتغال .
- عند القطب السالب للعمود يحدث تفاعل أكسدة وفق المعادلة :



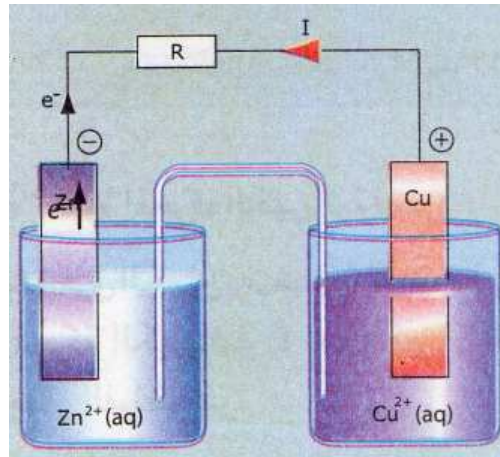
- عند القطب الموجب يحدث تفاعل إرجاع وفق المعادلة :



و عند جمع معادلتني الأكسدة و الإرجاع طرف إلى طرف بعد ضرب طرفي كل معادلة في عدد مناسب يجعل عدد الإلكترونات المفقودة مساوي لعدد الإلكترونات المكتسبة نحصل على المعادلة الكيميائية المنمذجة للتحول الكيميائي الحادث في العمود .

مثال (عمود دانيال) :

- عمود دانيال هو عمود يتكون نصفه الأول و الذي يمثل القطب الموجب من صفيحة نحاس Cu مغموسة في محلول كبريتات النحاس ($Cu^{2+} + SO_4^{2-}$) و نصفه الثاني الذي يمثل قطبه السالب من صفيحة زنك Zn مغموسة في محلول كبريتات الزنك ($Zn^{2+} + SO_4^{2-}$) (الشكل) .

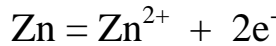


- رمز العمود :

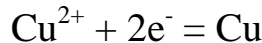


- التفاعلات الحادثة :

عند القطب السالب (-) يتأكسد الزنك وفق المعادلة :



عند القطب الموجب (+) ترجع شوارد النحاس وفق المعادلة :

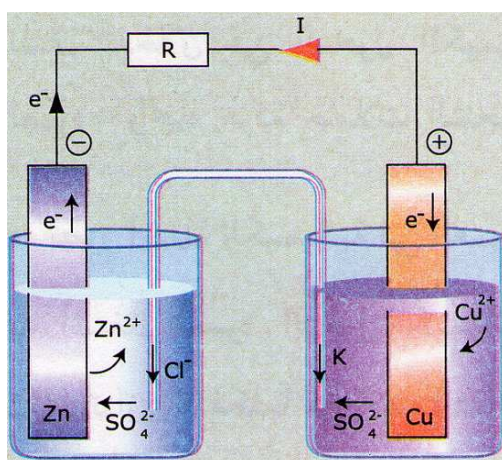


● القوة المحركة الكهربائية لعمود :

تمثل القوة المحركة الكهربائية التي يرمز لها بـ E و حدتها الفولط (V) لعمود ، التوتر الكهربائي بين مسرييه عندما لا يجري هذا العمود أي تيار كهربائي .
- تتعلق قيمة القوة المحركة الكهربائية لعمود بطبيعة الثنائيات التي تدخل في تركيب العمود و كذلك التراكيز المولية للمحاليل التي تشكل العمود .

● دور الجسر الملحي :

- الجسر الملحي و الذي يسمى أيضا الجسر الكهروكيميائي يمكن من الإتصال الكهربائي بين نصفي العمود (دون اختلاط المحلولين) من جهة ، و من جهة أخرى يسمح لشوارد المحلول الملحي بالتحرك من أجل ضمان التعادل الكهربائي للمحلولين .
- (الشكل) التالي يبين حركة الشوارد عند الجسر الملحي أثناء اشتغال عمود دانيال .



● كمية الكهرباء التي ينتجها العمود خلال اشتغاله :

- تقدم التفاعل هو عدد مرات حدوث التفاعل مقدرا بالمول (أو أفوقادرو مرة) .
- نرمز بـ z لعدد الإلكترونات المتبادلة بين المؤكسد و المرجع عندما يحدث التفاعل مرة واحدة ، و بالتالي يكون عدد الإلكترونات المتبادلة عندما يحدث التفاعل N_A (عدد أفوقادرو) مرة هو :

$$N = z N_A$$

- إذا رمزنا بـ Q_0 لكمية الكهرباء الموافقة لهذا العدد من الإلكترونات (عدد أفوقادرو) يكون :

$$Q_0 = z N_A e$$

- عندما يشتغل العمود مدة زمنية Δt و باعتبار أن تقيم التفاعل يبلغ القيمة $x(\text{mol})$ تكون الشحنة التي ينتجها العمود خلال هذه المدة هي :

$$Q = e \cdot x \cdot N_A$$

المقدار ($N_A e$) الذي يمثل كمية الكهرباء الموافقة لعدد أفوقادرو (1mol) من الإلكترونات تدعى الفاراداي ، يرمز لها بـ F و وحدتها الكولوم على المول (C/mol) و يكون :

$$F = N_A e$$

$$F = 6.02 \cdot 10^{23} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}$$

$$1F = 96500 C/\text{mol}$$

إذن يعبر عن كمية الكهرباء التي ينتجها العمود خلال مدة زمنية Δt و التي عندها تتقدم الجملة بالمقدار x بالعلاقة :

$$Q = z \cdot x \cdot F$$

- التيار الكهربائي الذي ينتجه العمود الكهربائي مستمر ، أي شدته ثابتة لذلك يعبر أيضا عن كمية الكهرباء التي ينتجها عمود يشتغل مدة زمنية Δt بالعلاقة :

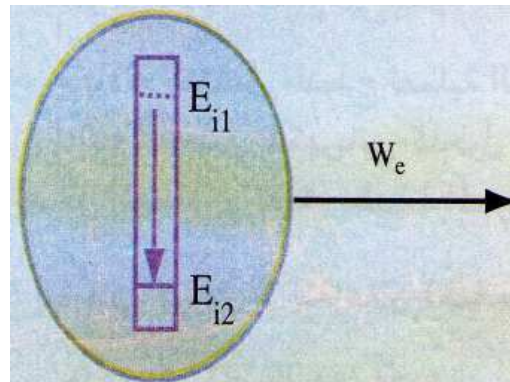
$$Q = I \cdot \Delta t$$

و عليه نكتب في النهاية :

$$Q = I \cdot \Delta t = z \cdot x \cdot F$$

• الحصيلة الطاقوية للجملة " عمود كهربائي " :

- عند اشتغال العمود الكهربائي ، يحدث تغير في الطاقة الداخلية للجملة " عمود " بسبب التحول الكيميائي الذي يكون مصحوبا بتحويل كهربائي W_e (الشكل) .

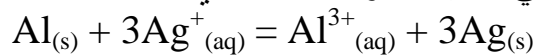


- معادلة انحفاظ الطاقة للجملة : عمود كهربائي " هي :

$$E_1 - |W_e| = E_2$$

التمرين (1) : (بكالوريا 2009 – رياضيات)

ينمذج التحول الكيميائي الذي يتحكم في تشغيل عمود بالتفاعل ذي المعادلة :



ينتج العمود عند اشتغاله تيارا كهربائي شدته ثابتة $I = 40 \text{ mA}$ خلال مدة زمنية $\Delta t = 300 \text{ min}$ و يحدث عندها تناقص في التركيز المولي لشوارد Ag^+ .

1- حدد قطبي العمود ؟ برر اجابتك .

2- مثل بالرسم هذا العمود مبينا عليه اتجاه التيار الكهربائي و اتجاه حركة الالكترونات .

أكتب رمز العمود (سؤال إضافي غير مدرج في تمرين البكالوريا)

3- اكتب المعادلتين النصفيتين عند المسريين .

4- احسب كمية الكهرباء التي ينتجها العمود خلال 300 min من التشغيل .

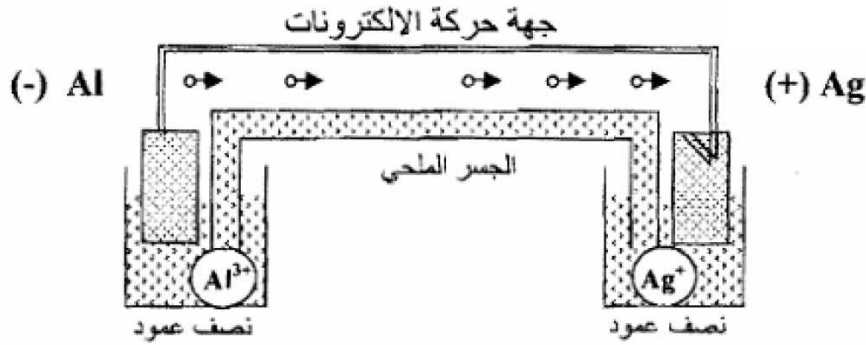
- 5- بالاستعانة بجدول تقدم التفاعل و بعد مدة زمنية $\Delta t = 300 \text{ min}$ من الاشتغال :
- أ- عين التقدم x .
- ب- احسب النقصان (Δm_{Al}) في كتلة مسرى الألمنيوم .
- يعطى : $1F = 96500 \text{ C}$ ، $M(\text{Al}) = 27 \text{ g/mol}$.

الأجوبة :

1- تحديد قطبي العمود :

من المعادلة يتضح أن الألمنيوم Al تأكسد في حين أن شوارد الفضة Ag^+ أرجعت ، و نحن نعلم أن في العمود الكهربائي تحدث عملية أكسدة في المصعد (القطب الموجب) ، و عملية إرجاع عند المهبط (القطب السالب) ، إذن مسرى الألمنيوم يمثل القطب السالب للعمود ، و مسرى الفضة يمثل قطبه الموجب .

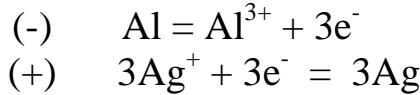
2- الرسم :



- تكون جهة التيار من مسرى الفضة نحو مسرى الألمنيوم (خارج العمود) .
- رمز العمود :



3- المعادلتين النصفيتين :



4- كمية الكهرباء التي ينتجها العمود خلال 300 min :

$$\begin{aligned} Q &= I \cdot \Delta t \\ Q &= 40 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot 60 = 720 \text{ C} \end{aligned}$$

5- أ- التقدم :

نعتبر $x_{(300)}$ هو مقدار التقدم عند مرور 300 min من اشتغال العمود ، و $Q_{(300)}$ هي كمية الكهرباء التي ينتجها العمود في هذه المدة الزمنية . يكون :

$$Q_{(300)} = Z \cdot x_{(300)} \cdot F \rightarrow x_{(300)} = \frac{Q_{(300)}}{Z \cdot F}$$

من المعادلتين النصفيتين نلاحظ أن عدد الإلكترونات المتبادلة بين المؤكسد و المرجع من أجل تفاعل واحد هو 3 إلكترونات أي $z = 3$ و منه :

$$x_{(300)} = \frac{720}{3 \cdot 96500} = 2.5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

ب- النقصان في الكتلة :
نمثل جدول التقدم :

الحالة	التقدم	Al	+ 3Ag ⁺	= Al ³⁺	+ 3Ag
ابتدائية	x = 0	n ₁	n ₂	0	0
انتقالية	x	n ₁ - x	n ₂ - x	x	3x
نهائية	x _f	n ₁ - x _f	n ₂ - x _f	x _f	3x _f

من جدول التقدم عدد مولات الألمنيوم المختفية (المتفاعلة) عند مرور 300 min و لتكن n₍₃₀₀₎(Al) هي :
n₍₃₀₀₎(Al) = x₍₃₀₀₎ = 2.5 . 10⁻⁴ mol

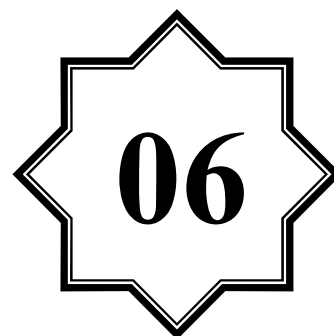
$$n_{(300)}(Al) = \frac{\Delta m}{M(Al)} \rightarrow \Delta m = n_{(300)}(Al) . M(Al)$$

$$\Delta m = 2.5 . 10^{-3} . 27 = 6.75 . 10^{-2} \text{ g} = 67.5 \text{ mg}$$

عروض نظرية و تمارين

من التطورات الحديثة

مراقبة تطور جملة كيميائية



الشعب : علوم تجريبية
رياضيات ، تقني رياضي

www.sites.google.com/site/faresfergani

السنة الدراسية : 2014/2015

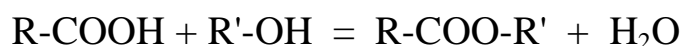
المحتوى المفاهيمي : 04

التحول أسترة - إماهة

تحول الأسترة

● تعريف تفاعل الأسترة :

- تفاعل الأسترة في الكيمياء العضوية هو تفاعل يحدث بين حمض كربوكسيلي $R-COOH$ و كحول $R'-OH$ ليتكون نتيجة لذلك أستر $R-COO-R'$ و ماء H_2O وفق المعادلة :



● خواص تفاعل الأسترة و مردود الأسترة :

- يتميز تفاعل الأسترة بالخواص التالية : بطيء جدا ، محدود ، لا حراري .
- الغرض من إضافة قطرات من الكبريت المركز إلى المزيج المتكون من الحمض الكربوكسيلي و الكحول و وضع هذا المزيج داخل حمام مائي درجة حرارته ثابتة هو تسريع التفاعل .
- يعرف مردود تفاعل الأسترة و الذي يرمز له بـ r بالعلاقة :

$$r = \tau_f . 100 = \frac{X_f}{X_{max}} . 100$$

- أثبتت التجارب أن مردود تفاعل الأسترة يتعلق بصنف الكحول كما مبين في الجدول التالي :

صنف الكحول	مردود الأسترة
أولى	67%
ثانوي	60%
ثالثي	5% → 10%

- يمكن إثبات أن ثابت توازن تفاعل الأسترة المنمذج بالمعادلة :



يعبر عنه بالعلاقة :

$$K_{\text{أسترة}} = \frac{[E]_f [H_2O]_f}{[A]_f [B]_f} = \frac{n_f(E) \cdot n_f(H_2O)}{n_f(A) \cdot n_f(B)}$$

ملاحظة :

ثابت التوازن لا يتعلق بالتراكيز الابتدائية ، و يمكن إثبات أن :

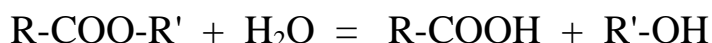
$$K = 4 \leftarrow \text{كحول أولي}$$

$$K = 2.25 \leftarrow \text{كحول ثانوي}$$

تحول الإماهة

• تفاعل الإماهة و مردود الإماهة :

- تفاعل الإماهة هو تفاعل يحدث بين الأستر $R-COO-R'$ و الماء H_2O ، لينتج عنه حمض $R-COOH$ ، و كحول $R'-OH$ و فق المعادلة الكيميائية التالية :



ومنه يمكن القول أن تفاعل الإماهة هو التفاعل المعاكس لتفاعل الأسترة .
 - خواص تفاعل إماهة هي نفسها خواص تفاعل الأسترة (بطيء جدا ، محدود ، لا حراري) .
 - يعرف مردود تفاعل الإماهة ($r_{\text{إماهة}}$) على أنه :

$$r_{\text{أسترة}} = 100 - r_{\text{إماهة}}$$

و في حالة مزيج ابتدائي متساوي المولات يكون :

صنف الكحول	مردود الأسترة	مردود الإماهة
أولى	67%	33%
ثانوي	60%	40%
ثالثي	5% → 10%	90% → 95%

- يمكن إثبات أن ثابت توازن تفاعل الإماهة يعبر عنه بالعلاقة :

$$K_{\text{إماهة}} = \frac{[A]_f [B]_f}{[E]_f [H_2O]_f} = \frac{n_f(A) \cdot n_f(B)}{n_f(E) \cdot n_f(H_2O)}$$

ملاحظة :

نذكر أن ثابت التوازن لا يتعلق بالتراكيز الابتدائية ، و يمكن إثبات أن :

$$K_{\text{إماهة}} = \frac{1}{K_{\text{أسترة}}}$$

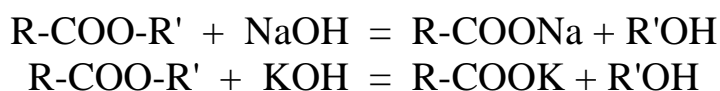
و عليه يكون :

$$\begin{aligned} K &= 0.25 \leftarrow \text{كحول أولي} \\ K &= 4.44 \cdot 10^{-2} \leftarrow \text{كحول ثانوي} \end{aligned}$$

أهمية الأسترات في الحياة اليومية تطبيق : تفاعل تصبن الأستر

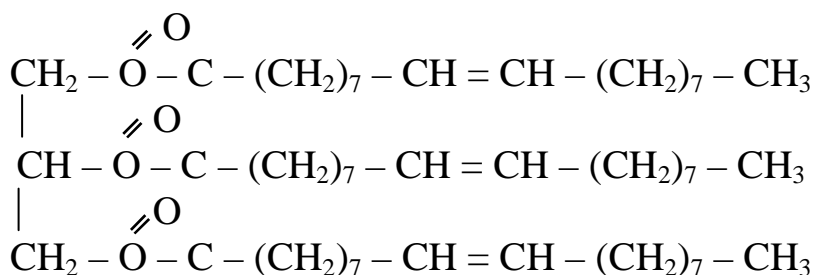
● تعريف تفاعل تصبن الأستر :

- تصبن الأستر R-COO-R' هو تفاعل تام يحدث بين هذا الأستر و أساس قوي مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH ، لينتج إثر ذلك كحول R'OH و ملح كربوكسيلات الصوديوم R-COONa في حالة استعمال هيدروكسيد الصوديوم ، و كربوكسيلات البوتاسيوم R-COOK في حالة استعمال هيدروكسيد البوتاسيوم وفق المعادلة :



● تطبيق تفاعل التصبن في صناعة الصابون :

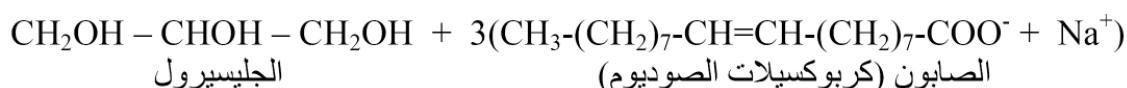
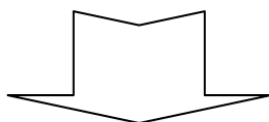
- تحتوي بعض الأجسام الدهنية مثل الشحوم (صلبة) ، و الزيوت (سائلة) على أحماض دهنية ، و نوع من الأسترات يسمى تريولات الغليسيرول ، صيغته الجزيئية نصف المفصلة تكون كما يلي :



A glass of milkshake with a thick white foam layer on top of a dark liquid.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{CH}_2 - \text{O} - \overset{\overset{\text{O}}{\parallel}}{\text{C}} - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH} - \text{O} - \overset{\overset{\text{O}}{\parallel}}{\text{C}} - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_2 - \text{O} - \overset{\overset{\text{O}}{\parallel}}{\text{C}} - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH}_3 \end{array} \right. + 3(\text{Na}^+ + \text{OH}^-)$$

(تريولات الجليسيرول)



1- أ- أكتب الصيغ نصف المفصلة للمركبات العضوية ذات الأسماء التالية :

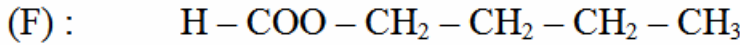
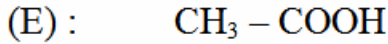
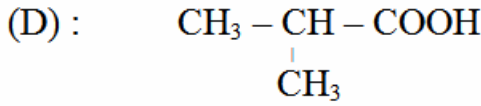
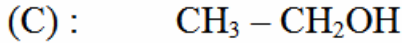
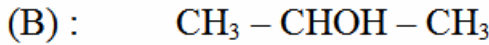
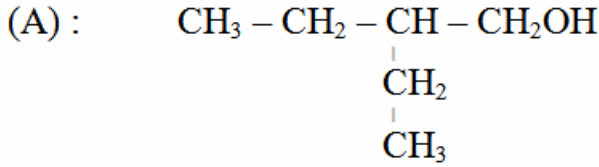
المركب	الإسم
(A)	2-إيثيل بوتان-1-ول
(B)	بروبان-2-ول
(C)	إيثانول
(D)	حمض 2-مثيل بروبانويك
(E)	حمض الإيثانويك
(F)	ميثانات البوتيل

ب- أكتب اسم و صيغة الأستر الناتج من التفاعلات التالية :

- تفاعل المركب (C) مع المركب (E) .
- تفاعل المركب (B) مع المركب (E) .
- تفاعل المركب (A) مع المركب (D) .

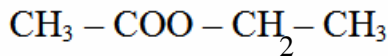
الأجوبة :

1- أ- الصيغ نصف المفصلة :



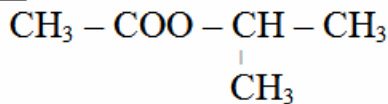
ب- صيغة و اسم الاستر الناتج :

• (C) + (E) :



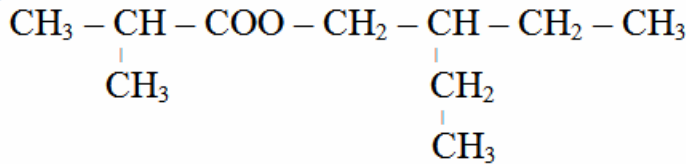
الإسم : إيثانوات الإيثيل .

• (B) + (E) :



الإسم : إيثانوات ميثيل إيثيل

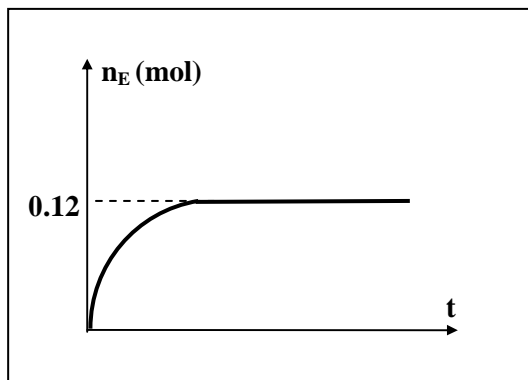
• (A) + (D) :



الإسم : 2- ميثيل بروبانات ، 2- إيثيل بوتيل .

التمرين (2) :

1- نمزج 0.2 mol من حمض كربوكسيلي (A) ، مع 0.2 mol من كحول (B) ، ثم نوفر الشروط اللازمة لحدوث التفاعل ، ينتج عن ذلك أستر (E) و ماء . يمثل البيان الموضح في (الشكل-1) تغيرات كمية مادة الأستر (E) المتشكل بدلالة الزمن .



- استنتج صنف الكحول (B) .

الأجوبة :

2- صنف الكحول :

الحالة	التقدم	A	+	B	=	E	+	D
ابتدائية	$x = 0$	0.2		0.2		0		0
انتقالية	x	$0.2 - x$		$0.2 - x$		x		x
نهائية	x_f	$0.2 - x_f$		$0.2 - x_f$		x_f		x_f

نبحث عن مردود التفاعل :

- إذا اختفى A كلياً :

$$0.2 - x = 0 \rightarrow x = 0.2$$

- إذا اختفى B كلياً :

$$0.2 - x = 0 \rightarrow x = 0.2$$

إذن : $x_{\max} = 0.2 \text{ mol}$.

- من البيان : $n_f(E) = 0.12 \text{ mol}$.

- من جدول التقدم : $n_f(E) = x_f$. إذن : $x_f = 0.12 \text{ mol}$. لدينا :

$$r = \frac{x_f}{x_{\max}} \cdot 100$$

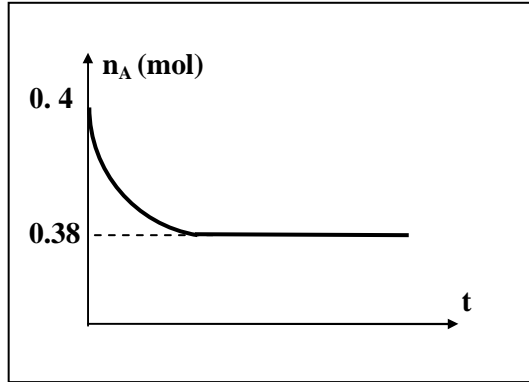
إذن :

$$r = \frac{0.12}{0.2} \cdot 100 = 60 \%$$

إذن الكحول المستعمل ثانوي .

التمرين (3) :

نجري تفاعل أسترة انطلاقا من مزيج ابتدائي متساوي المولات يتكون من حمض الخل (A) ، و كحول (B) . البيان الموضح في (الشكل-2) يمثل تغيرات كمية الحمض المتبقي (A) بدلالة الزمن .



- 1- أوجد التركيب المولي للمزيج الابتدائي ، و التركيب المولي للمزيج المتشكل عند التوازن .
- 2- أوجد صنف الكحول (B) .

الأجوبة :

1- التركيب المولي للمزيج الابتدائي :

بما أن المزيج الابتدائي متساوي المولات يكون :

$$n_0(A) = n_0(B)$$

من البيان : $n_0(A) = 0.4 \text{ mol}$ إذن :

$$n_0(A) = n_0(B) = 0.4 \text{ mol}$$

- التركيب المولي للمزيج عند التوازن :

الحالة	التقدم	A	+	B	=	E	+	D
ابتدائية	$x = 0$	0.4		0.4		0		0
انتقالية	x	$0.4 - x$		$0.4 - x$		x		x
نهائية	x_f	$0.4 - x_f$		$0.4 - x_f$		x_f		x_f

- من البيان : $n_f(A) = 0.38 \text{ mol}$.

- من جدول التقدم : $n_f = 0.4 - x_f$

ومنه :

$$0.4 - x_f = 0.38 \rightarrow x_f = 0.4 - 0.38 = 0.02 \text{ mol}$$

ومنه يكون التركيب المولي للمزيج عند التوازن كما يلي :

$$x_f(E) = x_f = 0.02 \text{ mol}$$

$$n_f(H_2O) = x_f = 0.02 \text{ mol}$$

$$n_f(A) = 0.4 - x_f = 0.38 \text{ mol}$$

$$n_f(B) = 0.4 - x_f = 0.38 \text{ mol}$$

2- صنف الكحول (B) :

نحسب مردود التفاعل :

$$r = \frac{X_f}{X_{\max}} \cdot 100$$

بنفس الطريقة السابقة نجد :

$$X_{\max} = 0.4 \text{ mol}$$

و منه :

$$r = \frac{0.02}{0.4} \cdot 100 = 5\%$$

إن الكحول (B) ثالثي .

التمرين (4) :

نمزج 3 mol من الميثانول CH_3OH مع 3 mol من حمض الخل CH_3COOH ، أوجد التركيب المولي للمزيج عند حدوث التوازن الكيميائي .

الاجوبة :

4- التركيب المولي للمزيج عند حدوث التوازن الكيميائي :

الحالة	التقدم	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{OH} = \text{CH}_3\text{COOCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$			
ابتدائية	$x = 0$	3	3	0	0
انتقالية	x	3 - x	3 - x	x	x
نهائية	X_f	3 - X_f	3 - X_f	X_f	X_f

الميثانول كحول أولي و كون أن المزيج الابتدائي متساوي المولات يكون مردود التفاعل : $r = 67\%$.
و لدينا :

$$r = \frac{X_f}{X_{\max}} \cdot 100 \rightarrow X_f = \frac{r \cdot X_{\max}}{100}$$

من جدول التقدم و باعتبار التفاعل تم يكون :

$$3 - X_{\max} = 0 \rightarrow X_{\max} = 3 \text{ mol}$$

ومنه :

$$X_f = \frac{67 \times 3}{100} \approx 2 \text{ mol}$$

إذن :

$$n_f(\text{CH}_3\text{COOCH}_3) = n_f(\text{H}_2\text{O}) = X_f = 2 \text{ mol}$$

$$n_f(\text{CH}_3\text{COOH}) = n_f(\text{CH}_3\text{OH}) = 3 - X_f = 1 \text{ mol}$$

التمرين (5) :

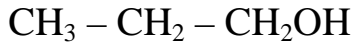
نمزج 0.02 mol من حمض كربوكسيلي (A) مع 0.02 mol من كحول (B) صيغته $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ ، عند حدوث التوازن نعاير الحمض المتبقي بمحلول هيدروكسيد الصوديوم تركيزه المولي $C_b = 1 \text{ mol/L}$ ، نجد الحجم اللازم للتكافؤ هو $V_{bE} = 8 \text{ mL}$.

1- أكتب الصيغ المفصلة الممكنة للكحول (B) مع ذكر الاسم و الصنف في كل مرة .

2- استنتج الصيغة الحقيقية للكحول (B) .

الأجوبة :

1- الصيغ نصف المفصلة الممكنة للكحول (B) :



بروبان-1-ول
(كحول أولي)



بروبان-2-ول
(كحول ثانوي)

2- الصيغة الحقيقية للكحول (B) :

نبحث عن مردود التفاعل :

الحالة	التقدم	A	+	B	=	E	+	D
ابتدائية	$x = 0$	$2 \cdot 10^{-2}$		$2 \cdot 10^{-2}$		0		0
انتقالية	x	$2 \cdot 10^{-2} - x$		$2 \cdot 10^{-2} - x$		x		x
نهائية	x_f	$2 \cdot 10^{-2} - x_f$		$2 \cdot 10^{-2} - x_f$		x_f		x_f

عند التكافؤ يكون :

$$n_{Af} = n_{Eb}$$

$$n_{Af} = C_b \cdot V_{bE} = 1 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

من جدول التقدم :

$$n_{Af} = 8 \cdot 10^{-3} - x_f$$

$$x_f = 8 \cdot 10^{-3} - n_{Af} = 2 \cdot 10^{-2} - 8 \cdot 10^{-3} = 1.2 \cdot 10^{-2}$$

- من جدول التقدم و باعتبار التفاعل تم :

$$2 \cdot 10^{-2} - x_{\max} = 0 \rightarrow x_{\max} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

لدينا :

$$r = \frac{x_f}{x_{\max}} \cdot 100$$

و منه :

إذن الكحول (B) ثانوي صيغته :



ملاحظة :

- في مركب عضوي أكسجيني (A) صيغته العامة $C_xH_yO_z$ يكون :

$$\frac{M(A)}{100\%} = \frac{12x}{C\%} = \frac{y}{H\%} = \frac{16Z}{O\%}$$

$$\frac{M(A)}{m(A)} = \frac{12x}{m_C} = \frac{y}{m_H} = \frac{16Z}{m_O}$$

- الكتلة المولية للمركب العضوي (A) بدلالة كثافته البخارية d ، يعبر عنها بالعلاقة :

$$M(A) = d \cdot 29$$

التمرين (6) :

كحول (B) كثافته البخارية $d = 2.55$.

- 1- أوجد صيغته الجزيئية المجرلة .
- 2- أكتب صيغه نصف المفصلة الممكنة مع ذكر الاسم و الصنف في كل صيغة .
يعطى : $M(O) = 16 \text{ g/mol}$ ، $M(H) = 1 \text{ g}$ ، $M(C) = 12 \text{ g/mol}$.

الأجابة :

1- الصيغة الجزيئية المجرلة للكحول :

لدينا من جهة :

$$M(B) = d \cdot 29 = 2.55 \cdot 29 \approx 74 \text{ g/mol}$$

الصيغة العامة للكحول هي : $C_nH_{2n+1}OH$ و عليه يكون من جهتين أخرى :

$$M(B) = 14n + 2n + 1 + 16 + 1 = 14n + 18$$

و منه :

$$14n + 18 = 74 \rightarrow n = \frac{74 - 18}{14} = 4$$

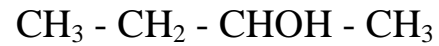
إذن الصيغة الجزيئية المجرلة للكحول (B) هي : C_4H_9OH .

2- الصيغ الجزيئية نصف المفصلة :



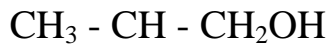
بوتان-1-ول

(كحول أولي)



بوتان-2-ول

(كحول ثانوي)



2- ميثيل بروبان-1-ول

(كحول أولي)



2- ميثيل بروبان-2-ول

(كحول ثالثي)

التمرين (7) :

مركب عضوي أكسجيني (A) صيغته العامة $C_nH_{2n}O_2$ ، نسبة الأكسجين فيه 36.36% .

- 1- أكتب الصيغة الجزيئية المجرلة للمركب العضوي (A) .
- 2- ما هي الطبيعة المحتملة لهذا المركب .
- 3- أكتب صيغه الجزيئية نصف المفصلة الممكنة مع ذكر الاسم الموافق لكل صيغة .
يعطى : $M(O) = 16 \text{ g/mol}$ ، $M(H) = 1 \text{ g}$ ، $M(C) = 12 \text{ g/mol}$.

الأجابة :

1- الصيغة الجزيئية المجملية للمركب العضوي (A) :
لدينا :

$$M(A) = 12n + 2n + 32 = 14n + 32$$

و لدينا :

$$\frac{M(A)}{100\%} = \frac{32}{O\%} \rightarrow \frac{14n + 32}{100\%} = \frac{32}{36.36}$$

$$14n + 32 = \frac{100.32}{36.36}$$

$$14n + 32 \approx 88 \rightarrow n = \frac{88 - 32}{14} = 4$$

إذن الصيغة الجزيئية المجملية للمركب العضوي الأكسجيني (A) هي : $C_4H_8O_2$.

2- طبيعة هذا المركب المحتملة هي إما حمض كربوكسيلي أو أستر .

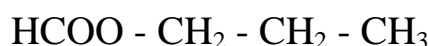
3- الصيغ الجزيئية نصف المفصلة الممكنة :



حمض بوتانويك



حمض ميثيل بروبانويك

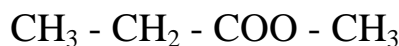


ميثانات بروبيل

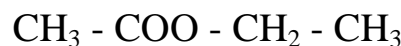


ميثانات ميثيل إيثيل

أو : ميثانات إيزوبروبيل



بروبانات ميثيل



إيثانات إيثيل

التمرين (8) :

حمض كربوكسيلي (A) ، كتلة الأكسجين فيه 8 أضعاف كتلة الهيدروجين .

1- أوجد صيغته الجزيئية المجملية ، ما هو اسمه .

2- أكتب صيغته الجزيئية المفصلة .

يعطى : $M(O) = 16 \text{ g/mol}$ ، $M(H) = 1 \text{ g}$ ، $M(C) = 12 \text{ g/mol}$.

الأجوبة :

1- الصيغة الجزيئية المجملية :

• الصيغة العامة للحمض الكربوكسيلي هي $C_nH_{2n}O_2$ و عليه يكون :

لدينا :

$$\frac{2n}{m(H)} = \frac{32}{m(O)}$$

و حيث أن كتلة الأكسجين 8 أضعاف كتلة الهيدروجين أي $m(O) = 8 m(H)$ يكون :

$$\frac{2n}{m(H)} = \frac{32}{8.m(H)} \rightarrow 2n = 4 \rightarrow n = 2$$

إذن الصيغة الجزيئية المجملية للمركب العضوي الأكسجيني (A) هي : $C_3H_6O_2$ ، أو : C_2H_5COOH .
 • في حالة استعمال الصيغة العامة : $C_2H_{2n+1}COOH$ يكون :
 لدينا :

$$\frac{2n + 2}{m(H)} = \frac{32}{m(O)}$$

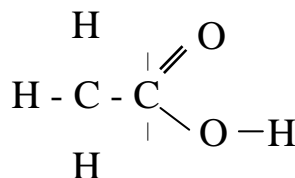
و حيث أن كتلة الأكسجين 8 أضعاف كتلة الهيدروجين أي $m(O) = 8 m(C)$ يكون :

$$\frac{2n + 2}{m(H)} = \frac{32}{8.m(H)} \rightarrow 2n + 2 = 4 \rightarrow 2n = 2 \rightarrow n = 1$$

إذن الصيغة الجزيئية المجملية للمركب العضوي الأكسجيني (A) هي C_2H_5COOH .
ملاحظة مهمة :

عند استعمال الصيغة $C_2H_{2n+1}COOH$ يكون $n = 0$ في حالة الميثانويك .

2- الصيغة الجزيئية المفصلة :

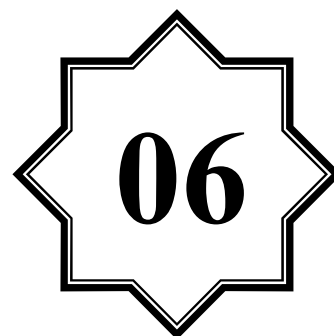


الإسم : حمض الإيثانويك

عروض نظرية و تمارين

التطورات الرتبة ٥

مراقبة تطور جملة كيميائية



الشعب : علوم تجريبية
رياضيات ، تقني رياضي

www.sites.google.com/site/faresfergani

السنة الدراسية : 2015/2014

المحتوى المفاهيمي : 05

مراقبة تطور جملة كيميائية

يسعى الكيميائيون لبلوغ الحالة النهائية للتحويل الذي نحققه بأسرع ما يمكن و الحصول على أكبر مردود يجعل نسبة التقدم النهائي قريبة من 1 ($\tau = 1$) و لقد راينا أن تفاعلي الأسترة و الإماهة بطيئين و محدودين ، و المشكلة المطروحة هل بإمكان الكيميائي زيادة سرعة التفاعل و تحسين مردودهما ؟

● مراقبة سرعة التفاعل :

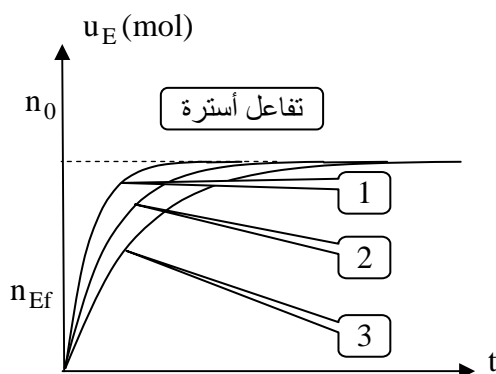
■ تأثير درجة الحرارة :

إن ارتفاع درجة الحرارة يزيد من سرعتي تفاعل الأسترة و الإماهة و يبلغان حالة التوازن في مدة أقل .
ملاحظة :

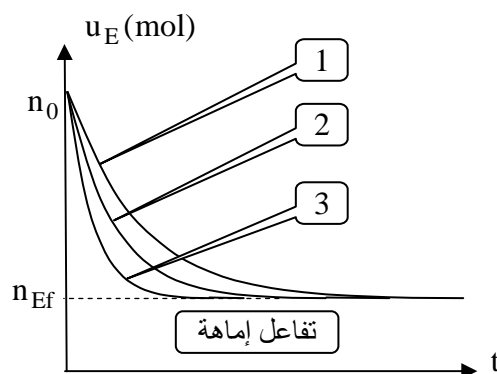
يجب أن تكون درجة الحرارة غير مرتفعة بشكل كبير حتى لا تتخرب المتفاعلات .

■ تأثير الوسيط في حالة تفاعل أسترة إماهة مستقلة عن درجة الحرارة :

تسمح إضافة وسيط مناسب من زيادة سرعتي تفاعل الأسترة و الإماهة لكنه لا يغير من حالة توازن الجملة و لا يظهر في معادلة التفاعل ، فشوارد $H^+_{(aq)}$ الآتية من إضافة قطرات من حمض الكبريت المركز إلى تفاعلي الأسترة و الإماهة تسرع التفاعلين .



- (1) ← دون وسيط + درجة حرارة θ_1 .
 (2) ← دون وسيط + درجة حرارة $\theta_2 > \theta_1$.
 (3) ← وسيط + درجة حرارة θ_1 .



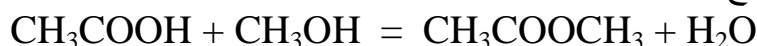
- (1) ← دون وسيط + درجة حرارة θ_1 .
 (2) ← دون وسيط + درجة حرارة $\theta_2 > \theta_1$.
 (3) ← وسيط + درجة حرارة θ_1 .

● مراقبة مردود تحول كيميائي :

- يتم تحسين مردود الأسترة بإحدى الطريقتين :
 - استعمال أحد المتفاعلات بزيادة .
 - نزع أحد نواتج التفاعل أثناء تشكله .

مثال :

- نعتبر تفاعل الأسترة النمذج بالمعادلة :



- كسر هذا التفاعل Q_r يعبر عنه بالعلاقة :

$$Q_{rf} = K = \frac{[\text{CH}_3\text{COOCH}_3]_f [\text{H}_2\text{O}]_f}{[\text{CH}_3\text{COOH}]_f [\text{CH}_3\text{OH}]_f}$$

- إن زيادة أحد المتفاعلات في الوسط التفاعلي (كحول أو حمض) يؤدي إلى زيادة مقام Q_r ، فتصبح أقل من K وبالتالي الجملة تصبح غير متوازنة ، و كون أن $Q_r < K$ تتطور الجملة في هذه الحالة في الاتجاه المباشر أي في جهة تشكل الأستر و الماء مما يؤدي إلى زيادة المردود .

- إن نزع أحد النواتج من الوسط التفاعلي (ماء أو أستر) يؤدي إلى نقصان بسط Q_r ، فتصبح أقل من K وبالتالي الجملة تصبح غير متوازنة ، و كون أن $Q_r < K$ تتطور الجملة في هذه الحالة في الاتجاه المباشر أي في جهة تشكل الأستر و الماء مما يؤدي إلى زيادة المردود .

التمرين (1) :

1- نضع في أرلينة ماير $V_A = 14.3 \text{ mL}$ من حمض الإيثانويك (A) و $m_B = 22.0 \text{ g}$ من كحول (B) ، نضيف قطرات من حمض الكبريت المركز و نسد الأرلينة بسدادة متصلة بمبرد ، ثم نضعها في حمام مائي درجة حرارته 100°C (الشكل) . بعد مدة زمنية من التسخين المرتد ، نسكب محتوى الأرلينة في بيشر به ماء مالح ، فنلاحظ طفو مادة عضوية .

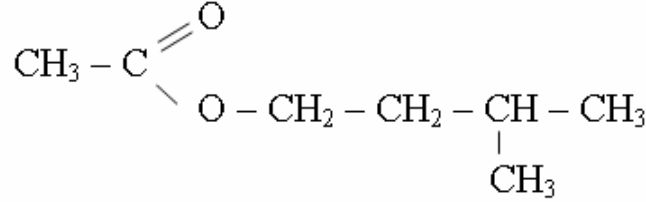
أ- ما نوع التحول الكيميائي الحادث ، أذكر مميزاته .

ب- ما دور كل من التسخين المرتد .

ج- ما هو الهدف من إضافة حمض الكبريت المركز ؟

د- لماذا نستعمل الماء المالح ؟

2- عند حدوث التوازن الكيميائي ، نحصل على كتلة $m_E = 21.7 \text{ g}$ من أستر E صيغته الجزيئية نصف المفصلة كما يلي :



أ- أكتب الصيغة نصف المفصلة للكحول B و أعط إسمه و كذلك صنفه .

ب- أوجد التركيب المولي للمزيج الابتدائي ثم أنشئ جدول تقدم التفاعل .

ج- أوجد مردود التفاعل و استنتج صنف الكحول المستعمل .

د- أكتب عبارة ثابت التوازن و احسب قيمته .

هـ- إذا قمنا بحذف الماء كلما تشكل . ماذا يحدث ؟ هل يؤثر ذلك على مردود التفاعل ، اشرح .

يعطى:

النوع الكيميائي	الكتلة المولية M (g/mol)	الكتلة الحجمية ρ (g/ml)
A : CH ₃ OOH	60	1.05
B : الكحول	88	0.18
E : الأستر	130	0.87

الأجوبة :

1- أ- مميزات التطور :

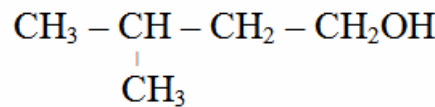
التحول الكيميائي الحادث هو أستر ، يتميز بالخواص التالية : محدود (غير تام) ، لا حراري ، بطيء جدا .

ب- دور التسخين المرتد هو تسريع التفاعل و تكثيف البخار المتصاعد و منع ضياعه فيعود إلى الأريلينة .

ج- الهدف من إضافة حمض الكبريت المركز هو تسريع التفاعل .

د- نستعمل الماء المالح هو فصل المواد .

2- أ- صيغة (B) و اسمه :



3- ميثيل بوتان-1-ول .
(كحول أولي)

ب- التركيب المولي للمزيج الابتدائي وجدول التقدم :

الحالة	التقدم	A	+	B	=	E	+	D
ابتدائية	x = 0	0.25		0.25		0		0
انتقالية	x	0.25 - x		0.25 - x		x		x
نهائية	x _f	0.25 - x _f		0.25 - x _f		x _f		x _f

$$\bullet n_0(A) = \frac{m_A}{M_A} = \frac{\rho(A) \cdot V}{M_A} = \frac{1.05 \cdot 14.3}{60} = 0.25 \text{ mol}$$

$$\bullet n_0(B) = \frac{m_B}{M_A} = \frac{22}{88} = 0.25 \text{ mol}$$

ج- مردود التفاعل وصنف الكحول :

من جدول التقدم و باعتبار التفاعل تام يكون :

$$0.25 - x_{\max} = 0 \rightarrow x_{\max} = 0.25 \text{ mol}$$

لدينا :

$$n_f(E) = \frac{m_f(E)}{M(E)} = \frac{21.7}{130} = 0.167 \text{ mol}$$

من جدول التقدم :

$$n_f(E) = x_f = 0.167 \text{ mol}$$

$$r = \frac{x_f}{x_{\max}} \cdot 100 = \frac{0.167 \cdot 100}{0.25} = 67 \%$$

إذن الكحول (B) أولي .

د- عبارة ثابت التوازن الكيميائي :

$$K = \frac{[E]_f [H_2O]_f}{[A]_f \cdot [B]_f}$$

$$K = \frac{\frac{n_f(E)}{V} \frac{n_f(H_2O)}{V}}{\frac{n_f(A)}{V} \frac{n_f(B)}{V}} = \frac{n_f(E) \cdot n_f(H_2O)}{n_f(A) \cdot n_f(B)}$$

$$K = \frac{x_f \cdot x_f}{(0.25 - x_f)(0.25 - x_f)} = \frac{x_f^2}{(0.25 - x_f)^2}$$

$$K = \frac{(0.167)^2}{(0.25 - 0.167)^2} \approx 4$$

هـ- إذا قمنا بحذف الماء يصبح $Q_r < K$ و منه التحول يتطور في الاتجاه المباشر (1) لأن ، و عندها تزداد كمية الأستر المتشكل و بالتالي يزداد مردود التفاعل .

التمرين (2) :

نمزج 0.2 mol من حمض الايثانويك (A) مع 0.2 mol من كحول B ، فنحصل على مزيج حجمه V ، عند التوازن نقسم بالتساوي المزيج إلى 10 عينات ، نعاير أحد العينات بمحلول هيدروكسيد الصوديوم تركيزه المولي $C_b = 1 \text{ mol/L}$ فنجد أن الحجم اللازم للتكافؤ هو : $V_b = 8 \text{ mL}$.

1- استنتج الحجم V_b' اللازم لمعايرة الحمض المتبقي الكلي المتواجد في المزيج .

2- أحسب كمية الحمض المتبقي في المزيج (الوسط التفاعلي) .

3- مثل جدول التقدم للتحول الكيميائي الحادث ، ثم استنتج التركيب المولي للمزيج عند حدوث التوازن .

- 4- أحسب قيمة ثابت التوازن الكيميائي K للتحويل الكيميائي الحادث .
 5- نضيف إلى المزيج الذي في حالة التوازن ، 0.1 mol من حمض الإيثانويك .
 أ- اشرح ماذا يحدث .
 ب- أحسب التركيب المولي للمزيج عند حدوث التوازن من جديد .
ج- أحسب مردود التفاعل ، ماذا تستنتج ؟

الأجوبة :

1- الحجم اللازم لمعايرة الحمض المتبقي الكلي المتواجد في المزيج :
 بما أننا قسمنا المزيج إلى عشر عينات متساوية ، و الحجم اللازم لمعايرة الحمض المتبقي في العينة هو $V_{bE} = 8 \text{ mL}$ ، فإن الحجم اللازم لمعايرة الحمض المتبقي الكلي في المزيج هو :

$$V_{bE}' = 10 V_{bE} = 10 \cdot 8 = 80 \text{ mL}$$

2- كمية الحمض المتبقي الكلي في المزيج (الوسط التفاعلي) :
 نحسب كمية الحمض المتبقي في العينة :
 عند التكافؤ في العينة :

$$n_0 = C_b V_{bE} = 1 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

و هي كمية مادة الحمض المتبقي في العينة ، و كون أن المزيج قسم بالتساوي إلى 10 عينات ، تكون كمية الحمض الكلية المتبقية في المزيج هي :

$$n_f(A) = 10 n_0 = 10 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0.08 \text{ mol}$$

ملاحظة :

يمكن حساب كمية الحمض المتبقية الكلية في المزيج بالاعتماد على الحجم اللازم للتكافؤ الكلي V_{bA}' حيث يكون :

$$n_f(A) = C_b V_{bE}' = 1 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 0.08 \text{ mol}$$

3- جدول التقدم :

الحالة	التقدم	A	+	B	=	E	+	D
ابتدائية	$x = 0$	0.2		0.2		0		0
انتقالية	x	$0.2 - x$		$0.2 - x$		x		x
نهائية	x_f	$0.2 - x_f$		$0.2 - x_f$		x_f		x_f

التركيب المولي للمزيج عند حدوث التوازن :

من جدول التقدم :

$$n_f(A) = 0.2 - x_f$$

وجدنا سابقا : $n_{fA} = 0.08 \text{ mol}$ و منه :

$$0.2 - x_f = 0.08 \rightarrow x_f = 0.2 - 0.08 = 0.12 \text{ mol}$$

و منه يكون التركيب المولي للمزيج عند حدوث التوازن كما يلي :

$$\bullet n_f(A) = n_f(B) = 0.2 - x_f = 0.08 \text{ mol}$$

$$\bullet n_f(E) = n_f(H_2O) = x_f = 0.12 \text{ mol}$$

4- قيمة ثابت التوازن الكيميائي K :

$$K = \frac{[E]_f [H_2O]_f}{[A]_f \cdot [B]_f}$$

$$K = \frac{\frac{n_f(E)}{V} \frac{n_f(H_2O)}{V}}{\frac{n_f(A)}{V} \frac{n_f(B)}{V}} = \frac{n_f(E) \cdot n_f(H_2O)}{n_f(A) \cdot n_f(B)}$$

$$K = \frac{(0.12)^2 \cdot (0.12)^2}{(0.08)^2 (0.08)^2} = 2.25$$

4- أ- ماذا يحدث :

عند إضافة الحمض إلى المزيج المتوازن يصبح $Q_r < K$ (أن تركيز الحمض في مقام K) ، و عليه يحدث تطور للجملة الكيميائية في الإتجاه المباشر أي جهة تحول الأسترة .

ب- التركيب المولي للمزيج عند حدوث التوازن الكيميائي من جديد :

عند إضافة 0.1 mol من الحمض إلى المزيج المتوازن ، يصبح التركيب المولي للمزيج كما يلي :

- $n_0(A) = 0.08 + 0.1 = 0.18 \text{ mol}$
- $n_0(B) = 0.08 \text{ mol}$
- $n_0(E) = n_0(H_2O) = x_f = 0.12 \text{ mol}$

نمثل جدول التقدم في هذه الحالة :

الحالة	التقدم	A	+	B	=	E	+	D
ابتدائية	$x = 0$	0.18		0.08		0.12		0.12
انتقالية	x	$0.18 - x$		$0.08 - x$		$0.12 + x$		$0.12 + x$
نهائية	x_f	$0.18 - x_f$		$0.08 - x_f$		$0.12 + x_f$		$0.12 + x_f$

ثابت التوازن لا يتعلق بالتراكيز الابتدائية و عليه يبقى على حالة مساوي $K = 4$ و عليه :

$$K = \frac{n_f(E) \cdot n_f(H_2O)}{n_f(A) \cdot n_f(B)} \rightarrow \frac{(0.12 + x_f) \cdot (0.12 + x_f)}{(0.18 - x_f) \cdot (0.08 - x_f)} = 2.25$$

$$\frac{0.0144 + 0.24 x_f + x_f^2}{0.0144 - 0.26 x_f + x_f^2} = 2.25$$

$$0.0144 + 0.24 x_f + x_f^2 = 0.0324 - 0.585 x_f + 2.25 x_f^2$$

$$1.25 x_f^2 - 0.825 x_f + 0.018 = 0$$

$$\Delta = 0.59$$

بعد حل المعادلة نجد :

- $x_{f1} = 0.64 \text{ mol} > x_{\max} \quad (x_{\max} = 0.08 \text{ mol}) \rightarrow \text{مرفوض}$
- $x_{f2} = 0.057 \text{ mol} \rightarrow \text{مقبول}$

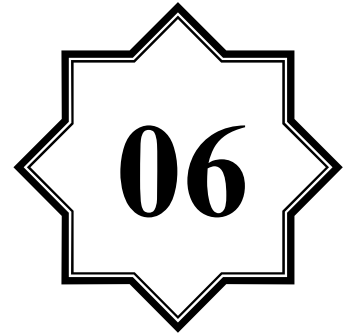
إذن التركيب المولي للمزيج عند حدوث التوازن من جديد يكون كما يلي :

- $n_f(A) = 0.18 - 0.022 = 0.158 \text{ mol}$
- $n_f(B) = 0.08 - 0.022 = 0.058 \text{ mol}$
- $n_f(E) = 0.12 + 0.022 = 0.142 \text{ mol}$
- $n_f(H_2O) = 0.12 + 0.022 = 0.142 \text{ mol}$

عروض نظرية و تمارين

التطورات الرتبة ٥

مراقبة تطور جملة كيميائية



الشعب : علوم تجريبية
رياضيات ، تقني رياضي

www.sites.google.com/site/faresfergani

السنة الدراسية : 2014/2015

06

المحتوى المفاهيمي :

التحولات القسرية

تطبيق : التحليل الكهربائي
(خاص بالشعب الرياضية فقط)

• تعريف التحول القسري :

التحول الكيميائي القسري هو تحول كيميائي لا يحدث تلقائيا بل يفرض (يجبر) بواسطة طاقة خارجية تقدم للجملة الكيميائية .

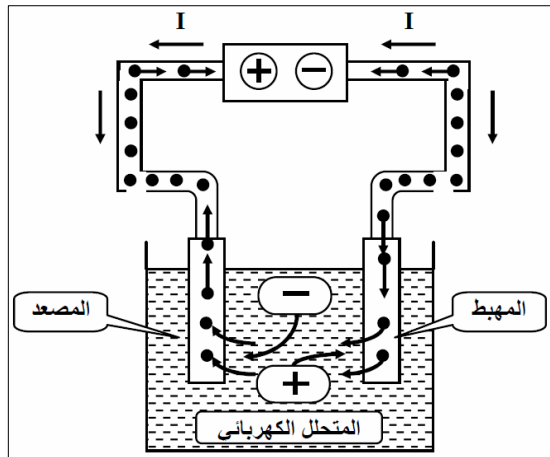
• التحليل الكهربائي :

- يحدث تحليل كهربائي لمحلول أو مصهور ما عندما يمر بهما تيار كهربائي ، ويرافق مرور هذا التيار حدوث تفاعلات كيميائية عند المسريين .

- يسمى كل محلول أو مصهور تحدث له عملية التحليل الكهربائي بـ المتحلل الكهربائي .

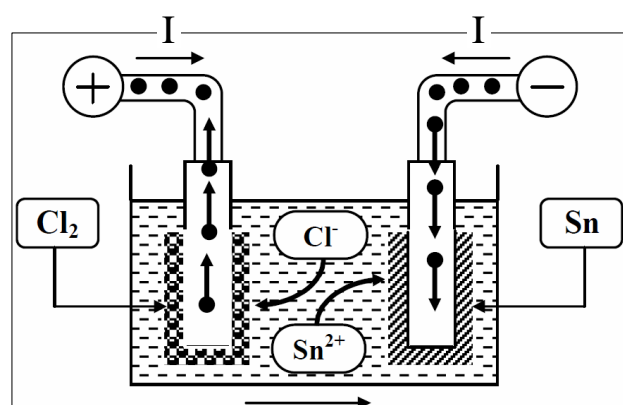
- يدخل التيار الكهربائي إلى وعاء التحليل الكهربائي الحاوي على المتحلل الكهربائي ، دوما من المسرى المرتبط بالقطب الموجب (المصعد) ، و يخرج من المسرى المرتبط بالقطب السالب للمولد (المهبط) ، في حين تنتقل الإلكترونات في الإتجاه المعاكس .

- نواتج التحليل الكهربائي ، تختلف باختلاف نوع المتحلل الكهربائي ، و حالته (محلول أو مصهور) ، و كذا نوع المسريين (طبيعة مادته) .



- المتحلل الكهربائي (المحلول أو المصهور) يحتوي على شوارد موجبة ، و شوارد سالبة ، و عند إمرار التيار الكهربائي بالوعاء ، تتجه الشوارد الموجبة إلى المهبط في حين تتجه الشوارد السالبة إلى المصعد .
- في حالة التحليل الكهربائي البسيط و هو التحليل الكهربائي الذي تكون نواتجه ناتجة فقط عن تفاعل الشوارد الموجبة و السالبة المكونة للمتحلل الكهربائي (مثال-1) يحدث ما يلي : " المهبط يقدم إلكترونات للشاردة الموجبة التي اقتربت إليه عند إمرار التيار الكهربائي ، في حين الشاردة السالبة التي اقتربت إلى المصعد تقدم إلكترونات إلى المصعد (تفاعل أكسدة) ، هذه الإلكترونات تتجه إلى المهبط بواسطة المولد عبر الدارة الخارجية و تقدمها للشاردة الموجبة (تفاعل إرجاع) ، و هكذا تتكرر العملية باستمرار " .
- هناك تحليل كهربائي آخر هو التحليل الكهربائي الذي لا تكون فيه نواتج التحليل الكهربائي ناتجة عن الشوارد المشكلة للمتحلل الكهربائي ، حيث تحدث تفاعلات كيميائية ثانوية ، يتدخل فيها الماء (مثال-2) ، أو المعدن الذي يشكل المصعد (مثال-3) .

مثال-1 : (التحليل الكهربائي لمحلول كلور القصدير)



- تجري التحليل الكهربائي لمحلول كلور القصدير $(Sn^{2+} + 2Cl^-)$ باستعمال مسريين من الفحم الكاثب .
- عند إمرار التيار الكهربائي في المحلول ، نلاحظ انطلاق غاز عند المصعد ، يمكن التعرف عليه بأنه غاز الكلور Cl_2 ، كما نلاحظ تكون عند المهبط شعيرات براقة هي عبارة عن بلورات من معدن القصدير Sn (الشكل) .

التفاعلات الحادثة :

- عند مرور التيار الكهربائي بمحلول كلور القصدير ، تتجه شوارد الكلور Cl^- باتجاه المصعد ، و شوارد القصدير Sn^{2+} باتجاه المهبط ثم يحدث ما يلي :

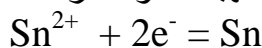
عند المصعد :

- تتخلى كل شاردة كلور Cl^- عن إلكتروناتها للمصعد متحولة إلى ذرة كلور حيث ترتبط كل ذرتين لتشكلايتين لتكوين جزيء غاز الكلور Cl_2 وفق المعادلة النصفية التالية :

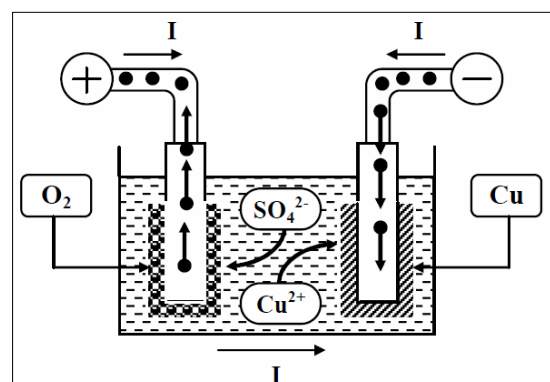


عند المهبط :

- تكتسب كل شاردة قصدير Sn^{2+} إلكترونين من المهبط مكونة ذرة قصدير Sn ، وفق المعادلة :



مثال-2 : (التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات النحاس)



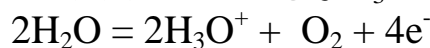
- تجري التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات النحاس $(Cu^{2+} + SO_4^{2-})$ المعروف بلونه الأزرق المميز لشوارد النحاس Cu^{2+} باستعمال مسريين غير متأثرين من البلاتين أو الفحم الكاثب .
- عند إمرار التيار الكهربائي في المحلول ، نلاحظ انطلاق غاز عند المصعد يمكن التعرف عليه بأنه غاز الأكسجين O_2 ، كما نلاحظ ترسب لجسم أحمر هو عبارة عن النحاس Cu (الشكل) .

التفاعلات الحادثة :

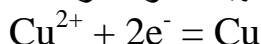
عند مرور التيار الكهربائي بمحلول كبريتات النحاس ، تتجه شوارد الكبريتات SO_4^{2-} باتجاه المصعد ، و شوارد النحاس Cu^{2+} باتجاه المهبط ثم يحدث ما يلي :

عند المصعد :

تؤثر شوارد الكبريتات SO_4^{2-} على جزيئات الماء ، فيتخلى كل جزيئين ماء عن 4 إلكترونات للمصعد متحولتين إلى غاز الأكسجين O_2 و شوارد الهيدرونيوم H_3O^+ وفق المعادلة الكيميائية التالية :

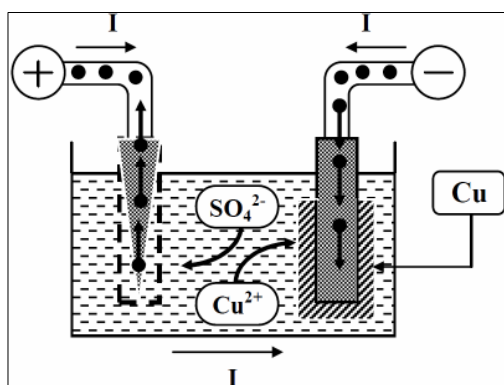
عند المهبط :

تكتسب كل شاردة نحاس Cu^{2+} إلكترونين من المهبط مكونة ذرة نحاس Cu وفق المعادلة :

مثال-3 : (التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات النحاس) (حالة مصعد منحل)

- نجري التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات النحاس ($Cu^{2+} + SO_4^{2-}$) ، لكن في هذه الحالة باستعمال مسريين ، يكون فيهما المصعد من النحاس ، و المهبط من الفحم الكاتب .

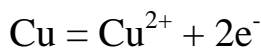
- عند إمرار التيار الكهربائي في المحلول ، نلاحظ تآكل المصعد و ترسب مادة النحاس على المهبط (الشكل) .

التفاعلات الحادثة :

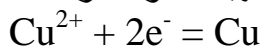
عند مرور التيار الكهربائي بمحلول كبريتات النحاس ، تتجه شوارد الكبريتات SO_4^{2-} باتجاه المصعد و شوارد النحاس Cu^{2+} باتجاه المهبط ثم يحدث ما يلي :

عند المصعد :

عند مرور التيار الكهربائي بمحلول كبريتات النحاس ، تتجه شوارد الكبريتات SO_4^{2-} باتجاه المصعد ، و شوارد النحاس Cu^{2+} باتجاه المهبط ثم يحدث ما يلي :

عند المهبط :

تكتسب كل شاردة نحاس Cu^{2+} إلكترونين من المهبط مكونة ذرة نحاس Cu وفق المعادلة :

د- تطبيقات التحليل الكهربائي :

- يمكن استغلال عملية التحليل الكهربائي صناعيا من أجل انتاج معدن ، تنقية معدن ، تغطية جسم بواسطة معدن أو إنتاج غاز

هـ- كمية الكهرباء المستهلكة خلال مدة زمنية Δt من التحليل الكهربائي :

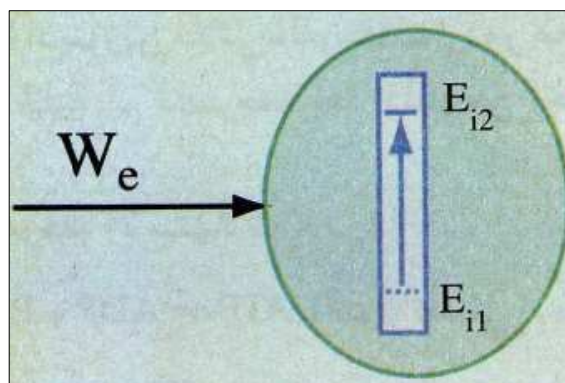
في مدة زمنية Δt أين يتقدم التفاعل النمذج لعملية التحليل الكهربائي بالمقدار x ، تستهلك عملية التحليل الكهربائي كمية من الكهرباء قدرها :

$$Q = I \cdot \Delta t = z \cdot x \cdot F$$

حيث z هو عدد الإلكترونات المتبادلة بين المرجع و المؤكسد من اجل حدوث التفاعل مرة واحدة .

هـ- الحصلة الطاقوية للجملة الكيميائية في وعاء التحليل الكهربائي :

خلال عملية التحليل الكهربائي تتغير الطاقة الداخلية للجملة الكيميائية عن طريق التحويل الكهربائي W_e الذي يقدمه المولد .

**التمرين (1) :**

I- نحلل كهربائيا محلولاً لنترات الفضة ($Ag^+ + NO_3^-$) باستعمال مسريين من الغرافيت فينطلق غاز ثنائي الأوكسجين عند المصعد و يتكون راسب معدني عند المهبط .

- 1- ارسم شكلاً توضيحياً للتجربة .
- 2- أكتب المعادلتين النصفيتين الحادثتين عند المسريين ، ثم اكتب معادلة التفاعل الإجمالية النمذجة للتحويل القسري الذي أثناء عملية التحليل الكهربائي .
- 3- مثل جدول تقدم هذا التفاعل .
- 4- يمر في الدارة تيار ثابت شدته 2.4 A خلال 30 دقيقة ، خلال هذه المدة الزمنية :

أ- أحسب كمية الكهرباء Q المارة في وعاء التحليل .

ب- أحسب التقدم الذي يبلغه التفاعل .

ج- أحسب كتلة الفضة المترسبة .

د- أوجد حجم غاز ثنائي الأوكسجين المنطلق في الشروط التي يكون فيها $V_M = 24 \text{ L/mol}$.

II- نقوم بالتحليل الكهربائي لمحلول كبريتات النحاس ($Cu^{2+} + SO_4^{2-}$) المحمض بحمض الكبريت ، حيث المسريين من النحاس بعد مدة من التشغيل نلاحظ أن المصعد قد تآكل و المهبط يغطي براسب أحمر ، و لا نلاحظ أي انطلاق للغازات و لا تغير في لون المحلول .

- 1- أكتب معادلات التفاعل الممكنة عند المسريين . ماذا تلاحظ ؟
- 2- أكتب معادلة التفاعل الإجمالية النمذجة للتحويل الكيميائي القسري أثناء عملية التحليل الكهربائي .
- 3- يستعمل هذا النوع من التحليل لتصفية المعادن من الشوائب في رأيك أين يجب وضع المعدن المراد تصفيته ، مع الشرح .

4- نريد تصفية قضيب نحاسي كتلته $m = 10 \text{ g}$ و الذي يحتوي 2% من الشوائب الغير متأكسدة ، شدة التيار الكهربائي $I = 2.5 \text{ A}$.

أ- مثل جدول التقدم لهذا التفاعل .

ب- ما هي المدة الزمنية اللازمة لتصفية هذا القضيب .

يعطى : (Ag^+/Ag) ، $(\text{O}_2/\text{H}_2\text{O})$ ، $1F = 96500 \text{ C/mol}$ ،

$M(\text{Ag}) = 108 \text{ g/mol}$ ، $M(\text{Cu}) = 63.5 \text{ g/mol}$

الأجوبة :

I-1- الرسم :

2- المعادلتين النصفيتين :

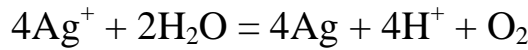
عند المهبط :



عند المصعد :



المعادلة الإجمالية :



3- جدول التقدم :

الحالة	التقدم	$4\text{Ag}^+ + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{H}^+ + 4\text{Ag} + \text{O}_2$				
ابتدائية	$x = 0$	n_0	زيادة	0	0	0
انتقالية	x	$n_0 - x$	زيادة	$4x$	$4x$	x
نهائية	x_f	$n_0 - x_f$	زيادة	$4x_f$	$4x_f$	x_f

4- أ- كمية الكهرباء Q المارة في الوعاء :

$$Q = I \Delta t$$

$$Q = 2.4 \cdot 30 \cdot 60 = 4320 \text{ C}$$

ب- التقدم الذي يبلغه التفاعل :

$$Q = z \cdot x \cdot F \rightarrow x = \frac{Q}{z \cdot F}$$

$$x = \frac{4320}{4 \cdot 96500} = 1.12 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

ج- كتلة الفضة المترسبة :

من جدول التقدم عدد مولات الفضة الناتجة (المترسبة) بعد 30 دقيقة من عملية التحليل هو :

$$n(\text{Ag}) = 4x = 4 \cdot 1.12 \cdot 10^{-2} = 4.48 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

$$n(\text{Ag}) = \frac{m(\text{Ag})}{M} \rightarrow m(\text{Ag}) = n(\text{Ag}) \cdot M$$

$$m(\text{Ag}) = 4.48 \cdot 10^{-2} \cdot 108 = 4.84 \text{ g}$$

ب- حجم غاز ثنائي الأكسجين المنطلق في شروط يكون فيها $V_M = 24 \text{ L/mol}$:

من جدول التقدم عدد مولات غاز ثنائي الأكسجين الناتج (المنطلق) بعد 30 دقيقة من عملية التحليل الكهربائي هو :

$$n(\text{O}_2) = x = 1.12 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

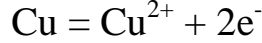
$$n(O_2) = \frac{m(O_2)}{V_M} \rightarrow V(O_2) = n(O_2) \cdot V_M$$

$$V(O_2) = 1.12 \cdot 10^{-2} \cdot 24 = 0.27 \text{ L}$$

II- معادلات التفاعل الممكنة عند المسريين :

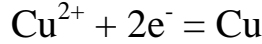
المصعد :

المصعد الذي هو من النحاس تآكل ، هذا يدل على أن نحاس المصعد تأكسد وفق المعادلة :



المهبط :

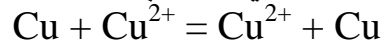
تشكل الراسب الأحمر عند المهبط يدل على تشكل النحاس الناتج عن ارجاع شوارد النحاس وفق المعادلة :



الملاحظة :

نلاحظ أن النحاس الذي اختفى عند المصعد (المتآكل) تشكل من جديد عند المهبط و كأن النحاس المتآكل عند المصعد تمت عملية نقله إلى المهبط .

2- معادلة التفاعل الإجمالية المنمذجة للتحويل الكيميائي القسري الحادث أثناء عملية التحليل الكهربائي :



4- مكان وضع المعدن المراد تصفيته :

كما ذكرنا سابقا ، التحليل في هذه الحالة (حالة المصعد المنحل) يتم فيه نقل النحاس المتآكل إلى المهبط ، لذا يجب جعل المعدن المراد تصفيته هو معدن وعاء التحليل الكهربائي لكي يتم نقله إلى المهبط نقيا ، بذلك نحصل على المعدن النقي في المهبط بغض النظر عن بعض الشوائب التي يحدث لها ما حدث للمعدن (التأكسد) و التي تمثل نسبة ضعيفة جدا في المعدن التي تمت تصفيته .

4- أ- جدول التقدم :

الحالة	التقدم	Cu	+ Cu ²⁺	= Cu ²⁺	+ Cu
ابتدائية	x = 0	n ₁	n ₂	0	0
انتقالية	x	n ₁ - x	n ₂ - x	x	x
نهائية	x _f	n ₁ - x _f	n ₂ - x _f	x _f	x _f

ب- المدة الزمنية اللازمة لتصفية القضيب النحاسي :

بما أن الشوائب تمثل 2% من كتلة النحاس النقية ، فإن النحاس النقي يمثل نسبة 98% و بالتالي كتلة النحاس النقي التي ستحدث له عملية النقل إلى المهبط و الذي يترسب عنده كما ذكرنا سابقا هي :

$$m(\text{Cu}) = 10 \cdot \frac{98}{100} = 9.8 \text{ g}$$

و عدد المولات الموافق لهذه الكتلة تمثل عدد مولات النحاس المترسبة عند المهبط هي :

$$n(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{M} = \frac{9.8}{63.5} = 0.15 \text{ mol}$$

اعتمادا على جدول التقدم عدد مولات النحاس المترسبة عند المهبط هي :

$$n(\text{Cu}) = x \rightarrow x = 0.15 \text{ mol}$$

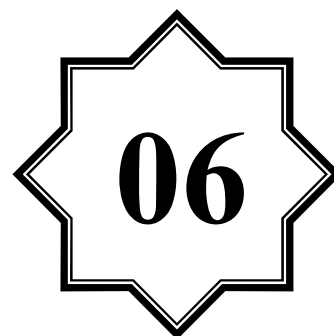
و لدينا من جهة أخرى :

$$Q = I \cdot \Delta t = z \cdot x \cdot F \rightarrow \Delta t = \frac{z \cdot x \cdot F}{I}$$

عمر بنظري و تمارين

التطورات الرتبة ٥

مراقبة تطور جملة كيميائية



الشعب : علوم تجريبية
رياضيات ، تقني رياضي

www.sites.google.com/site/faresfergani

السنة الدراسية : 2015/2014

المحتوى المفاهيمي : 07

سلسلة تمارين-1 (مستوى 02)

التمرين (1) :

- 1- حمض كربوكسيلي A كثافة بخاره بالنسبة للهواء 2.07 . أوجد الصيغة الجزيئية المجملية لهذا الحمض .
- 2- نشكل مزيج متساوي المولات يتكون من 2 mol من حمض (A) و 2 mol من كحول B هو البروبانول-2 ، وعند توفر الشروط اللازمة لحدوث التفاعل ، ينتج أستر E و ماء .
 - أ- أكتب معادلة التفاعل الحادث . مبينا خصائصه .
 - ب- أوجد نسبة التقدم النهائي :
 - ج- أكتب عبارة ثابت التوازن الكيميائي لتفاعل الأسترة بدلالة التقدم النهائي x_f ثم أحسب قيمته .
- 3- نشكل مزيج آخر يتكون من 1 mol من حمض A و 2 mol من الكحول B و 4 mol من الأستر (E) و 3 mol من الماء ثم نوفر الشروط اللازمة لحدوث التفاعل .
 - أ- بين في أي جهة يتطور التفاعل (أسترة أو إمهاة) .
 - ب- أوجد التركيب المولي للمزيج عند حدوث التوازن الكيميائي .
 - ج- أحسب مردود التفاعل .

الأجوبة :

1- الصيغة الجزيئية المجملية :

الصيغة العامة للحمض الكربوكسيلي هي : $C_nH_{2n+1}COOH$ و منه يكون :

$$M(A) = d \cdot 29 = 2.07 \cdot 29 \approx 60 \text{ g/mol}$$

و من جهة أخرى لدينا :

$$M(A) = 12n + 2n + 1 = 12 + 16 + 16 + 1 = 14n + 46$$

ومنه :

$$14n + 46 = 60 \rightarrow n = \frac{60 - 46}{14} = 1$$

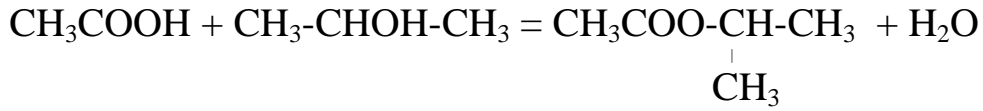
إذن الصيغة الجزيئية المجدلة للحمض (A) هي : CH_3COOH .

2-أ- معادلة التفاعل :

البربانول-2 صيغته :



ومنه المعادلة :



هذا التفاعل هو تفاعل أسترة يتميز بالخصائص التالية :

✓ محدود (غير تام) .

✓ لا حراري .

✓ عكوس .

✓ بطيء .

ب- نسبة التقدم النهائي :

البربانول-2 كحول ثانوي و كون أن المزيج الابتدائي متساوي المولات يكون :

$$r = 60 \% \rightarrow \tau_f = 0.60$$

ج- ثابت التوازن الكيميائي :

$$K = \frac{[\text{E}]_f [\text{H}_2\text{O}]_f}{[\text{A}]_f \cdot [\text{B}]_f}$$

$$K = \frac{\frac{n_f(\text{E})}{V} \frac{n_f(\text{H}_2\text{O})}{V}}{\frac{n_f(\text{A})}{V} \frac{n_f(\text{B})}{V}} = \frac{n_f(\text{E}) \cdot n_f(\text{H}_2\text{O})}{n_f(\text{A}) \cdot n_f(\text{B})}$$

نمثل جدول التقدم :

الحالة	التقدم	A	+	B	=	E	+	D
ابتدائية	$x = 0$	2		2		0		0
انتقالية	x	$2 - x$		$2 - x$		x		x
نهائية	x_f	$2 - x_f$		$2 - x_f$		x_f		x_f

من جدول التقدم :

$$n_f(\text{E}) = n_f(\text{H}_2\text{O}) = x_f$$

$$n_f(\text{A}) = n_f(\text{B}) = 2 - x_f$$

بالتعويض في عبارة ثابت التوازن الكيميائي :

$$K = \frac{x_f^2}{(2 - x_f)^2}$$

من جدول التقدم و باعتبار التفاعل تم يكون :

$$2 - x_{\max} = 0 \rightarrow x_{\max} = 2 \text{ mol}$$

$$\tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}} \rightarrow x_f = \tau_f x_{\max}$$

$$x_f = 0.6 \cdot 2 = 1.2 \text{ mol}$$

ومنه :

$$K = \frac{(1.2)^2}{(2 - 1.2)^2} = 2.25$$

3- جهة تطور التفاعل :

نقارن بين Q_{ri} و K .

$$Q_{ri} = \frac{[E]_0 [H_2O]_0}{[A]_0 \cdot [B]_0}$$

$$Q_{ri} = \frac{\frac{n_0(E)}{V} \frac{n_0(H_2O)}{V}}{\frac{n_0(A)}{V} \frac{n_0(B)}{V}} = \frac{n_0(E) \cdot n_0(H_2O)}{n_0(A) \cdot n_0(B)}$$

$$Q_{ri} = \frac{4 \cdot 3}{1 \cdot 2} = 6$$

$Q_{ri} > K$ و منه التفاعل يتطور في الاتجاه المعاكس . (تفاعل إمامة) .

ب- التركيب المولي للمزيج عند حدوث التوازن :

الحالة	التقدم	E	+	H ₂ O	=	A	+	B
ابتدائية	x = 0	4		3		1		2
انتقالية	x	4 - x		3 - x		1 + x		2 + x
نهائية	x _f	4 - x _f		3 - x _f		1 + x _f		2 + x _f

إذا اعتبرنا :

K_1 : ثابت التوازن لتفاعل الأسترة .

K_2 : ثابت التوازن لتفاعل الإمامة .

يكون :

$$K_2 = \frac{1}{K_1} = \frac{1}{2.25} = 0.44$$

$$K_2 = \frac{\frac{[A]_f \cdot [B]_f}{V} \frac{n_f(A)}{V} \frac{n_f(B)}{V}}{\frac{[E]_f \cdot [H_2O]_f}{V} \frac{n_f(E)}{V} \frac{n_f(H_2O)}{V}} = \frac{n_f(A) \cdot n_f(B)}{n_f(E) \cdot n_f(H_2O)}$$

من جدول التقدم :

$$n_f(A) = 1 + x_f$$

$$n_f(B) = 2 + x_f$$

$$n_f(E) = 4 - x_f$$

$$n_f(H_2O) = 3 - x_f$$

ومنه يصبح لدينا :

$$K_2 = \frac{(1 + x_f)(2 + x_f)}{(4 - x_f)(3 - x_f)} = 0.44 \rightarrow \frac{2 + 3x_f + x_f^2}{12 - 7x_f + x_f^2} = 0.44$$

$$2 + 3x_f + x_f^2 = 5.28 - 3.08x_f + 0.44x_f^2$$

$$0.56x_f^2 + 6.08x_f - 3.28 = 0$$

$$\Delta = 44.31 \rightarrow \sqrt{\Delta} = 6.66$$

$$x_{f1} = \frac{-6.08 - 6.68}{2 \cdot 0.56} = -11.4 \text{ (مرفوض)}$$

$$x_{f2} = \frac{-6.08 + 6.68}{2 \cdot 0.56} = 0.52 \text{ mol (مقبول)}$$

و عليه يكون التركيب المولي للمزيج عند حدوث التوازن كما يلي :

$$n_f(A) = 1 + 0.51 = 1.52 \text{ mol}$$

$$n_f(B) = 2 + 0.51 = 2.52 \text{ mol}$$

$$n_f(E) = 4 - 0.51 = 3.48 \text{ mol}$$

$$n_f(H_2O) = 3 - 0.51 = 2.48 \text{ mol}$$

ج- مردود التفاعل :

$$r = \frac{x_f}{x_{\max}} \cdot 100$$

- من جدول التقدم :

▪ إذا اختفى E كلياً :

$$4 - x = 0 \rightarrow x = 4$$

▪ إذا اختفى H_2O كلياً :

$$3 - x = 0 \rightarrow x = 3$$

إذن : $x_{\max} = 3 \text{ mol}$ ومنه :

$$r = \frac{0.51}{3} \cdot 100 = 17.3 \%$$

ملاحظة :

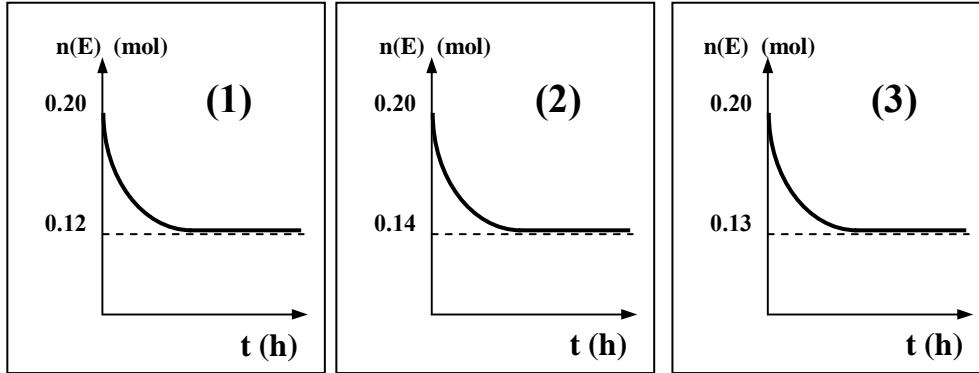
$$\tau_{\text{(إمالة)}} = 1 - \tau_{\text{(أسترة)}}$$

$$r_{\text{(إمالة)}} = 100 - r_{\text{(أسترة)}}$$

التمرين (2) :

- 1- ينتج عن إمالة الأستر (E) صيغته الجزيئية المجملة $C_4H_8O_2$ ، حمض الميثانويك و كحول (B) .
أ- استنتج الصيغة المجملة للكحول (B) .
ب- أكتب الصيغ نصف المفصلة له .

2- لمعرفة الصيغة الحقيقية للأستر (E) ، يحضر مزيج متساوي المولات يحتوي على 0.2 mol من الأستر (E) و 0.2 mol من الماء ، و يتابع تطور التفاعل الذي يجري في شروط ملائمة ، فيحصل على واحد من المنحنيات التالية التي تمثل تغيرات عدد مولات الأستر المتبقية بدلالة الزمن .



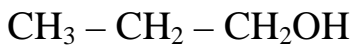
أ- ما هي من بين المنحنيات الممثلة ، المنحنى الذي يمثل تغيرات كمية مادة الأستر (E) المتبقية ؟ علما بأنه عند التوازن يلزم للتكافؤ $V_{bE} = 80 \text{ mL}$ عند معايرة الحمض الناتج عن إمهاء الأستر بمحلول هيدروكسيد الصوديوم الذي تركيزه المولي $C_b = 1 \text{ mol/L}$
 ب- ما هي الصيغة الحقيقية للأستر (E) و ما إسمه .

الأجوبة :

1- الصيغة الجزيئية المجملية للكحول :

من خلال الشكل العام لمعادلة الأسترة يتضح أن عدد ذرات الكربون في الأستر مساوي لمجموع عدد ذرات الكربون في الحمض و الكحول ومنه :
 ▪ الأستر : عدد ذرات الكربون هو 4 .
 ▪ حمض الميثانويك : عدد ذرات الكربون هو 1 .
 إذن عدد ذرات كربون الكحول (B) ذو الصيغة العامة $C_nH_{2n+1}OH$ هو 3 ($n = 3$) و منه الصيغة الجزيئية المجملية للكحول هي : C_3H_7OH .

ب- الصيغ نصف المفصلة للكحول B :



بروبان-1-ول
(كحول ثانوي)



بروبان-2-ول
(كحول أولي)

2-أ- المنحنى الممثل لتغيرات عدد مولات الأستر بدلالة الزمن :

الفرق بين المنحنيات يكمن في عدد مولات الأستر المتشكل في نهاية التفاعل (التوازن) و عليه لتحديد المنحنى الموافق نحسب عدد مولات الأستر المتشكل في نهاية التفاعل .
 - عند التكافؤ :

$$n_f(A) = C_b V_{bE}$$

$$n_f(A) = 0.08 \text{ mol}$$

و هي عدد مولات الحمض المتشكل (A) في نهاية التفاعل .
 - نمثل جدول التقدم لتفاعل الإمهاء :

الحالة	التقدم	E	+ H ₂ O	= A	+ B
ابتدائية	x = 0	0.2	0.2	0	0
انتقالية	x	0.2 - x	0.2 - x	x	x
نهائية	x _f	0.2 - x _f	0.2 - x _f	x _f	x _f

من جدول التقدم :

$$n_f(A) = x_f \rightarrow x_f = 0.08 \text{ mol}$$

من جدول التقدم أيضا :

$$n_f(E) = 0.2 - x_f = 0.2 - 0.08 = 0.12 \text{ mol}$$

هذه النتيجة توافق المنحنى (1) الذي يمثل تغيرات عدد مولات الأستر بدلالة الزمن .

ج- الصيغة الحقيقية للأستر :

لتحديد الصيغة الحقيقية للأستر نبحث عن صنف الكحول و ذلك بحساب مردود الإماهة .

$$r = \frac{x_f}{x_{\max}} \cdot 100$$

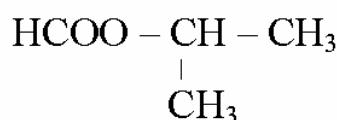
من جدول التقدم و بفرض أن التفاعل تم يكون :

$$0.2 - x_{\max} = 0 \rightarrow x_{\max} = 0.2 \text{ mol}$$

ومنه :

$$r = \frac{0.08}{0.2} \cdot 100 = 40\%$$

إذن صنف الكحول ثانوي و الصيغة الحقيقية للأستر هي :



إسمه : ميثانوات ميثيل إيثيل

أو : ميثانوات إيزوبروبيل

التمرين (3) :

1- إن عملية التصبن الصودي (بواسطة الصود NaOH) لأستر عضوي (E) كثافة بخاره بالنسبة للهواء $d = 4$ أعطت مركب (C) ، و كحول (B) يحتوي على 21.62 % أكسجين .

أ- أكتب الصيغة الجزيئية المجملية للمركبات (E) ، (C) ، (B) .

ب- أكتب الصيغة الجزيئية نصف المفصلة للكحول (B) مع ذكر الإسم و الصنف في كل صيغة .

ج- أكتب معادلة التصبن .

2- نشكل مزيج متساوي المولات يتكون من المركب (B) و حمض الإيثانويك ، نضيف للمزيج قطرات من حمض الكبريت المركز ثم نضعه في حمام مائي درجة حرارته ثابتة . نلاحظ عند نهاية التفاعل تشكل 11.6 g من الأستر و تبقى 114 g من حمض الإيثانويك .

أ- أكتب معادلة التفاعل الحاصل .

ب- أكتب الصيغ الجزيئية نصف المفصلة الممكنة للكحول (B) مع ذكر الإسم و الصنف في كل صيغة .

ج- مثل جدول التقدم لتفاعل الأسترة ثم أوجد التركيب المولي للمزيج الابتدائي و التركيب المولي للمزيج عند حدوث التوازن الكيميائي .

د- احسب مردود التفاعل و استنتج صيغة الكحول الحقيقية .

هـ- أكتب الصيغة الجزيئية نصف المفصلة للأستر (E) .

يعطى :

$$M(O) = 16 \text{ g/mol/L} , M(H) = 1 \text{ g/mol} , M(C) = 12 \text{ g/mol}$$

الأجوبة :

1- الصيغة الجزيئية المجملية لـ B ، C ، E :

الأستر E :

$$M(E) = d \cdot 29 = 4 \cdot 29 = 116 \text{ g/mol}$$

- الصيغة العامة للأستر هي : $C_nH_{2n}O_2$ ومنه يكون :

$$M(E) = 12n + 2n + 32 = 14n + 32$$

ومنه :

$$14n + 32 = 116 \rightarrow n = \frac{116 - 32}{14} = 6$$

إذن صيغة الأستر هي : $C_6H_{12}O_2$.

الكحول (B) :

صيغة الكحول العامة $C_nH_{2n}OH$ أو $C_nH_{2n+2}O$ لذا يكون :

$$\frac{M(B)}{100\%} = \frac{12n}{C\%} = \frac{2n + 2}{H\%} = \frac{16}{O\%}$$

$$\frac{M(B)}{100\%} = \frac{16}{O\%}$$

$$\frac{M(B)}{100\%} = \frac{16}{21.62\%} \rightarrow M(B) = \frac{16 \cdot 100}{21.62} \approx 74 \text{ g/mol}$$

و من جهة أخرى :

$$M(B) = M(C_nH_{2n+1}OH) = 12n + 2n + 1 + 16 + 1 = 14n + 18$$

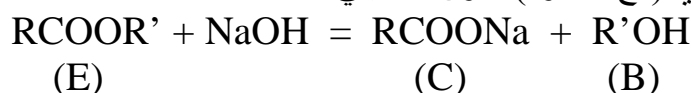
ومنه :

$$14n + 18 = 74 \rightarrow n = \frac{74 - 18}{14} = 4$$

إذن الصيغة الجزيئية المجملية للكحول (B) هي : C_4H_9OH .

المركب (C) :

المعادلة العامة للتصبن الصودي (مع الصود) تكون كما يلي :



و عليه عدد ذرات الكربون في الأستر (E) مساوية لعدد ذرات الكربون في المركب (C) مضاف إليها عدد ذرات الكربون في الكحول (B) و منه :

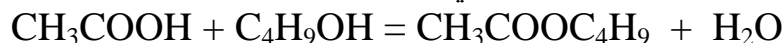
▪ عدد ذرات كربون الأستر (E) هو : 6

▪ عدد ذرات كربون الكحول (B) هو : 4

إذن عدد ذرات كربون (C) هو 2 و كون أن صيغة (C) العامة RCOONa أي $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Na}$ تكون الصيغة الجزيئية للنوع الكيميائي (C) هي : CH_3COONa .

ج- معادلة التفاعل :

اعتمادا على معادلة التصبن العامة السابقة يمكن كتابة الصيغة الجزيئية المجملية للأستر (E) كما يلي :



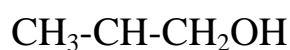
ب- الصيغ الجزيئية نصف المفصلة للكحول (B) :



بوتان-1-ول
(كحول أولي)



بوتان-2-ول
(كحول ثانوي)



1- ميثيل بروبان-1-ول
(كحول أولي)



2- ميثيل بروبان-2-ول
(كحول ثالثي)

ج- جدول التقدم :

الحالة	التقدم	A	+	B	=	E	=	H ₂ O
ابتدائية	x = 0	n ₀		n ₀		0		0
انتقالية	x	n ₀ - x		n ₀ - x		x		x
نهائية	x _f	n ₀ - x _f		n ₀ - x _f		x _f		x _f

- التركيب المولي للمزيج الابتدائي و عند التوازن :

$$\bullet n_f(E) = \frac{m_f(E)}{M(E)}$$

$$M(E) = 116 \text{ g/mol}$$

$$n_f(E) = \frac{11.6}{116} = 0.1 \text{ mol}$$

$$\bullet n_f(A) = \frac{m_f(A)}{M(A)}$$

$$M(E) = 116 \text{ g/mol}$$

$$n_f(E) = \frac{114}{116} = 1.9 \text{ mol}$$

من جدول التقدم :

$$\bullet n_f(E) = x_f \rightarrow x_f = 0.1 \text{ mol}$$

$$\bullet n_f(A) = n_0 - x_f \rightarrow n_0 = n_f(A) + x_f = 1.9 + 0.1 = 2 \text{ mol}$$

إذن التركيب المولي للمزيج الابتدائي و عند التوازن يكون على النحو التالي :

	مزيج ابتدائي	عند التوازن
n(A)	2 mol	1.9 mol
n(B)	2 mol	1.9 mol
n(C)	0	0.1 mol
n(D)	0	0.1 mol

د- مردود التفاعل و الصيغة الحقيقية للكحول :

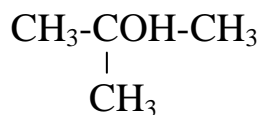
$$r = \frac{x_f}{x_{\max}} \cdot 100$$

من جدول التقدم و بفرض أن التفاعل تام :

$$n_0 - x_{\max} = 0 \rightarrow x_{\max} = n_0 = 2 \text{ mol}$$

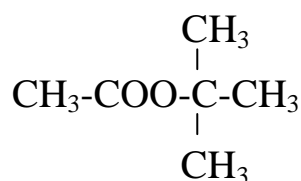
$$r = \frac{0.1}{2} \cdot 100 = 5\%$$

إذن الكحول المستعمل ثالثي صيغته الجزيئية نصف المفصلة كما يلي :



هـ- الصيغة الجزيئية نصف المفصلة للأستر (E) :

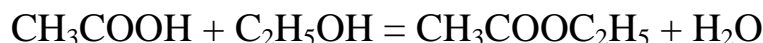
بناءا على صيغة الكحول السابقة تكون صيغة الأستر الناتج عن تفاعل هذا الكحول مع حمض الإيثانويك كما يلي :



تمارين مقترحة

التمرين (4): (بكالوريا 2009 - علوم تجريبية) (الحل المفصل : تمرين مقترح 01 على الموقع)

ننمذج التحول الكيميائي الحاصل بين حمض الإيثانويك (CH_3COOH) و الإيثانول ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) بالمعادلة :



لدراسة تطور التفاعل بدلالة الزمن ، نسكب في إناء موضوع داخل الجليد مزيجا مؤلفا من 0.2 mol من حمض الإيثانويك (CH_3COOH) و 0.2 mol من الكحول ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) ، بعد الرج و التحريك نقسم المزيج على 10 أنابيب اختبار مرقمة من 1 إلى 10 ، بحيث يحتوي كل منها على نفس الحجم V_0 من المزيج . نسد الأنابيب و نوضع في حمام مائي درجة حرارته ثابتة و نشغل الميقاتية .

في اللحظة $t = 0$ نخرج الأنبوب الأول ونعاير الحمض المتبقي فيه بواسطة محلول مائي من هيدروكسيد الصوديوم ($\text{Na}^+ + \text{OH}^-$) تركيزه المولي $C = 1.0 \text{ mol.L}^{-1}$ ، فيلزم لبلوغ نقطة التكافؤ إضافة حجم من هيدروكسيد الصوديوم (V_{be}) لنستنتج (V'_{be}) اللازم لمعايرة الحمض المتبقي الكلي . بعد مدة نكرر العملية مع أنبوب آخر و هكذا ، لنجمع القياسات في الجدول التالي :

$t(h)$	0	4	8	12	16	20	32	40	48	60
$V'_{be}(mL)$	200	168	148	132	118	104	74	66	66	66
$x(mol)$ تقدم التفاعل										

1- أ/ ما اسم الأستر المتشكل ؟

ب/ انشئ جدولا لتقدم التفاعل بين الحمض (CH_3COOH) و الكحول ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) .

ج) اكتب معادلة التفاعل الكيميائي للنموذج للتحول الحاصل بين حمض الإيثانويك (CH_3COOH) و محلول هيدروكسيد الصوديوم ($\text{Na}^+ + \text{OH}^-$) .

2- أ/ أكتب العلاقة بين كمية الحمض المتبقي (n) و (V'_{be}) حجم الأساس اللازم للتكافؤ .

ب- بالإستعانة بجدول التقدم السابق أحسب قيمة (x) تقدم التفاعل ثم أكمل الجدول أعلاه .

ج- أرسم المنحنى البياني $x = f(t)$.

د- أحسب نسبة التقدم النهائي τ ، ماذا تستنتج ؟

هـ- عبر عن كسر التفاعل النهائي Q_{rf} في حالة التوازن بدلالة التقدم النهائي x_f . ثم أحسب قيمته .

أجوبة مختصرة :

1- أ) إيثانات الإثيل .

ب- جدول التقدم :

الحالة	التقدم	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$			
ابتدائية	$x = 0$	0.2	0.2	0	0
انتقالية	x	$0.2 - x$	$0.2 - x$	x	x
نهائية	x_f	$0.2 - x_f$	$0.2 - x_f$	x_f	x_f

ج) $n_a = CV'_{be}$ (2- أ ، $\text{CH}_3\text{COOH} + (\text{Na}^+ + \text{HO}^-) = (\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{Na}^+) + \text{H}_2\text{O}$)

(ب) جدول القياسات :

 $x_f = 0.2 - V'_{be}$ ، و من خلال هذه العلاقة نملاً الجدول .

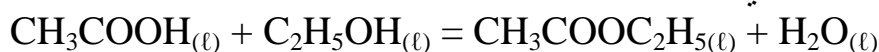
t(h)	0	4	8	12	16	20	32	40	48	66
x (mol)	0	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.13	0.13	0.13

(ب) $\tau_f = 0.65$ ، نستنتج أن التفاعل غير تام .

$$Q_{rf} = \frac{n_f(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5) n_f(\text{H}_2\text{O})}{n_f(\text{CH}_3\text{COOH}) n_f(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})} = 3.45 \quad (\text{هـ})$$

التمرين (5): (بكالوريا 2009 – رياضيات) (الحل المفصل : تمرين مقترح 02 على الموقع)

لغرض متابعة تطور التحول الكيميائي بين حمض الإيثانويك CH_3COOH و الإيثانول $\text{C}_2\text{H}_5\text{-OH}$ نأخذ 7 أنابيب اختبار و عند اللحظة ($t = 0$) نمزج في كل واحد منها $n_0(\text{mol})$ من الحمض و $n_0(\text{mol})$ من الكحول السابقين .
ينمذج التحول الحادث بالتفاعل ذي المعادلة :



عائرينا عند درجة حرارة ثابتة و في لحظات زمنية متعاقبة محتوى الأنابيب الواحد تلو الآخر من أجل معرفة كمية مادة الحمض المتبقى (n) بواسطة محلول هيدروكسيد الصوديوم ($\text{Na}^+ + \text{OH}^-$) . سمحت هذه العملية بالحصول على جدول القياسات التالي :

t(h)	0	1	2	3	4	5	6	7
n(mol)	1,00	0,61	0,45	0,39	0,35	0,34	0,33	0,33
n'(mol)								

- 1- أنجز جدولاً لتقدم التفاعل و احسب التقدم الأعظمي x_{\max} .
- 2- استنتج العلاقة التي تعطي كمية مادة الاستر المتشكل (n') بدلالة كمية مادة الحمض المتبقى (n) .
- 3- أكمل الجدول أعلاه ، و باختيار سلم مناسب أرسم المنحنى الذي يمثل تغيرات كمية مادة الاستر المتشكل بدلالة الزمن $n' = f(t)$.
- 4- أحسب قيمة سرعة التفاعل عند اللحظة $t = 3 \text{ h}$ ، كيف تتطور سرعة التفاعل مع الزمن ؟ علل .
- 5- أحسب النسبة النهائية للتقدم (τ_f) و ماذا تستنتج ؟

أجوبة مختصرة :

(1) جدول التقدم :

الحالة	التقدم	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$			
ابتدائية	$x = 0$	n_0	n_0	0	0
انتقالية	x	$n_0 - x$	$n_0 - x$	x	x
نهائية	x_f	$n_0 - x_f$	$n_0 - x_f$	x_f	x_f

- التقدم الأعظمي : $x_{\max} = n_0 = 1 \text{ mol}$.(2) $n' = 1 - n$.

- إكمال الجدول :

t (h)	0	1	2	3	4	5	6	7
n' (mol)	0	0.39	0.55	0.61	0.65	0.66	0.67	0.67

$$t = 3 \text{ h} \rightarrow v = 0.5 \text{ mol/h} , v_c = \tan \alpha \quad (4)$$

- الجملة الكيميائية تؤول إلى التوازن و عليه السرعة تتناقص إلى أن تنعدم .
 $\tau_f = 0.67 < 1$ (5) نستنتج أن التفاعل غير تام

التمرين (6) : (بكالوريا 2011 - علوم تجريبية) (الحل المفصل : تمرين مقترح 03 على الموقع)

لتحضير النوع الكيميائي العضوي ميثانوات الإيثيل E نمزج 0.5 mol من حمض عضوي A مع 0.5 mol من كحول B بوجود قطرات من حمض الكبريت المركز في انبوب اختبار ثم نسده بإحكام و نضعه في حمام مائي درجة حرارته ثابتة 100°C .

- 1- أ- ما طبيعة النوع الكيميائي E ؟ و ما هي صيغته الجزيئية نصف - المفصلة ؟
 ب- اكتب الصيغة الجزيئية نصف - المفصلة لكل من A و B ، سم كلا منها .
 ج- ما تأثير كل من حمض الكبريت المركز و درجة الحرارة على التحول الحادث ؟
- 2- اكتب المعادلة الكيميائية المعبرة عن التفاعل المنمذج لهذا التحول .
- 3- مستعينا بجدول التقدم للتفاعل احسب ثابت التوازن الكيميائي K الموافق .
- 4- عند حدوث التوازن الكيميائي نضيف للمزيج 0.1 mol من الحمض العضوي A .
 أ- توقع في أي اتجاه تتطور الجملة الكيميائية تلقائيا ؟ علل .
 ب- اوجد التركيب المولي للمزيج عند بلوغ حالة التوازن الجديد للجملة الكيميائية .

أجوبة مختصرة :

- 1- أ) النوع الكيميائي E عبارة عن أستر صيغته الجزيئية نصف المفصلة هي : $\text{H} - \text{COO} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$
 ب) الإيثانول ، حمض الميثانويك ، ج- حمض الكبريت و درجة الحرارة يؤديان إلى تسريع التفاعل .
- 2) $\text{H} - \text{COOH} + \text{CH}_3 - \text{CH}_2\text{OH} = \text{H} - \text{COO} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$

$$K = \frac{x_f^2}{(0.5 - x_f)} \approx 4 \quad (3)$$

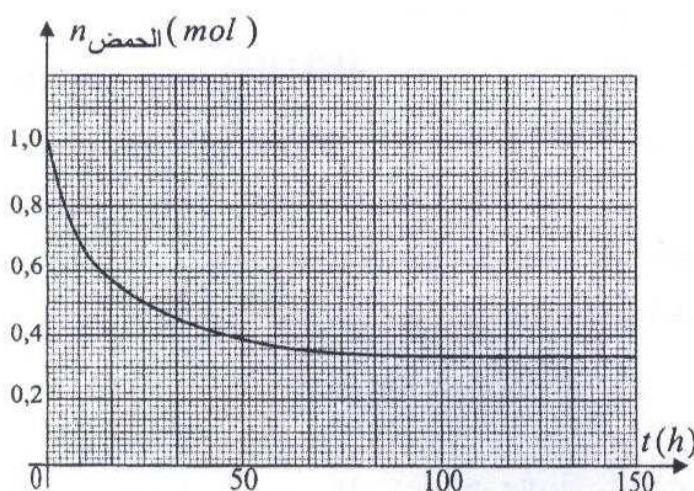
- 4- أ) تتطور الجملة في جهة عل الأسترة (الاتجاه المباشر) بفعل زيادة التراكيز الابتدائية .
 ب) $n'_f(\text{HCOOC}_2\text{H}_5) = 0.362 \text{ mol}$ ، $n'_f(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0.138 \text{ mol}$ ، $n'_f(\text{HCOOH}) = 0.2387 \text{ mol}$
 $n'_f(\text{H}_2\text{O}) = 0.362 \text{ mol}$

التمرين (7) : (بكالوريا 2011 - رياضيات) (الحل المفصل : تمرين مقترح 04 على الموقع)

لغرض متابعة و مراقبة تطور جملة كيميائية مكونة من حمض الإيثانويك ، نمزج في اللحظة $t = 0 \text{ s}$ و في درجة حرارة ثابتة ، 1.0 mol من حمض الإيثانويك و 1.0 mol من الإيثانول . يتطور التحول الكيميائي مباشرة بعد لحظة المزج ، ينتج عنه الماء و مركب عضوي E .

- 1- أ- ما اسم هذا التحول ؟ اذكر خصائصه .
 ب- اكتب معادلة التفاعل المنمذج للتحول الحادث .
 ج- أعط اسم المركب العضوي E .
- 2- لمتابعة تطور المزيج التفاعلي نأخذ منه عينة حجمها V من الحجم الكلي ، نبرد العينة المأخوذة أنيا ، ثم نعاير حمض الإيثانويك المتبقي في العينة بمحلول لهيدروكسيد الصوديوم تركيزه المولي معلوم .

نكرر العملية في لحظات زمنية محددة ، البيان (الشكل-1). يلخص مختلف التجريبية المتحصل عليها .



الشكل-1

أ- اوجد السرعة اللحظية للتفاعل في اللحظة $t = 25 \text{ h}$

ب- احسب مردود التفاعل عند التوازن .

3- لزيادة مردود التفاعل ، هل تقوم ب :

• زيادة حرارة المزيج التفاعلي ؟

• استخدام مزيج ابتدائي غير متساوي المولات ؟

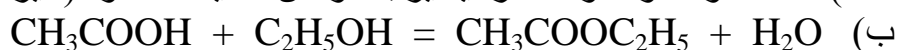
• إضافة قطرات من حمض الكبريت المركز ؟

4- أ- احسب كسر التفاعل ، للجملة الكيميائية السابقة ، عند التوازن $Q_{r \text{ eq}}$ ، ثم استنتج ثابت التوازن K .

ب- عند التوازن نضيف إلى المزيج التفاعلي 0.2 mol من حمض الإيثانويك ، حدد جهة تطور الجملة . علل .

أجوبة مختصرة :

1- أ) هذا التحول هو تحول استرة يتميز بالخواص التالية : محدود (غير تام) ، لاجراري ، بطيء جدا .



ج) اسم المركب العضوي E : إيثانوات الإيثيل ، 2- $v = 8.1 \cdot 10^{-3} \text{ mol/h}$ (ب ، $r = \frac{0.67}{1} \cdot 100 = 67 \%$)

3) لزيادة مردود تفاعل الأسترة نستخدم مزيجا ابتدائيا غير متساوي المولات .

$$K = Q_{r \text{ f}} = 4.12 , Q_{r \text{ f}} = \frac{x_f^2}{(1 - x_f)^2} = 4.12 \quad (4-1)$$

ب) عند حدوث التوازن السابق و إضافة 0.2 mol من الجملة يصبح $Q_{r \text{ i}} = 2.56$ ، نلاحظ أن $Q_{r \text{ i}} < K$ ، إذن الجملة تتطور في الاتجاه المباشر أي في جهة تشكل الأستر . ($K = 4.12$)

التمرين (8) : (بكالوريا 2013 - علوم تجريبية) (الحل المفصل : تمرين مقترح 05 على الموقع)

في حصة للأعمال المخبرية، كلف الأستاذ فوجًا من التلاميذ بوضع في كل أنبوب من أنابيب الاختبار

الثمانية مزيجا يتكون من: $4,5 \text{ mmol}$ من ميثانوات الإيثيل و 10 mL من الماء.

توضع أنابيب الاختبار مسدودة في حمام مائي درجة حرارته ثابتة 40°C . كل 10 min يفرغ التلميذ

محتوى أحد الأنابيب في بيشر، ثم يوضع هذا الأخير في حوض به ماء وجليد، ويعاير الحمض A المتشكل في البيشر بواسطة محلول هيدروكسيد الصوديوم $(Na^+(aq) + HO^-(aq))$ ، تركيزه المولي: $c_b = 0,50 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ ، بوجود كاشف ملون مناسب نحصل على التكافؤ بعد إضافة حجم V_{eq} من محلول هيدروكسيد الصوديوم.

يكرر التلاميذ العملية مع بقية الأنابيب وتدون النتائج في الجدول التالي:

$t(\text{min})$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$V_{eq}(\text{mL})$	0	2,1	3,7	5,0	6,1	7,0	7,6	7,8	7,8

- 1- لماذا يوضع البيشر في حوض به ماء وجليد؟ وما دور الكاشف الملون؟
- 2- اكتب الصيغة الجزيئية نصف المفصلة للإستر.
- 3- أ - سمّ التحول الكيميائي الحادث للجملة في الأنابيب، مع ذكر خصائصه عند حالة التوازن الكيميائي.

ب- اكتب معادلة التفاعل الحادث في أنبوب الاختبار.

4- عبّر عن n_A كمية مادة الحمض A المتشكلة في كل أنبوب بدلالة V_{eq} .

استنتج قيمة x تقدم التفاعل في كل من الأزمنة التالية:

$t(\text{min})$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$x(\text{mmol})$									

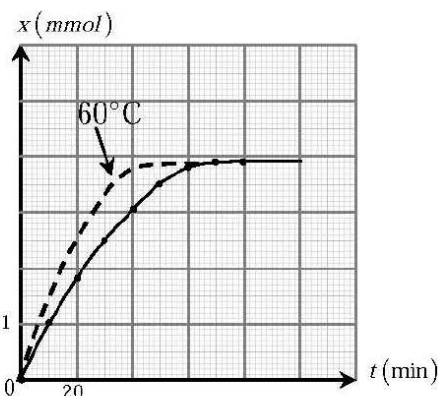
5- أ- ارسم بيان: $x = f(t)$ على ورقة ميليمترية.

ب- احسب r مردود التحول. كيف يمكن مراقبته؟

6- اعد رسم بيان: $x = f(t)$ كيفيا على نفس المعلم، في حالة ما أجريت التجربة في درجة الحرارة: $\theta = 60^\circ C$.

أجوبة مختصرة :

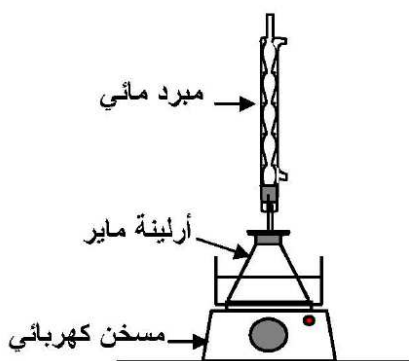
- 1) لتوقيف التفاعل ، دور الكاشف الملون معرفة التكافؤ .
- 2) $HCOOCH_2CH_3$ ، 3-أ) التحول الحادث إمهاة أستر خصائصه : بطيء ، غير تام ، لا حراري .
- ب) $HCOOC_2H_5 + H_2O = HCOOH + C_2H_5OH$ (4 ، $x = 0.5 V_{eq}$.



$t(\text{min})$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$x(\text{mmol})$	0	1,05	1,85	2,50	3,05	3,50	3,80	3,90	3,90

5-أ) البيان :

ب) $r = 87\%$ ، مراقبة المردود : استعمال مزيج ابتدائي غير متكافئ في كمية المادة لتحسين قيمة المردود .

التمرين (9) : (بكالوريا 2013 - علوم تجريبية) (الحل المفصل : تمرين مقترح 06 على الموقع)

الشكل-1

الهدف: دراسة تحول الأسترة.

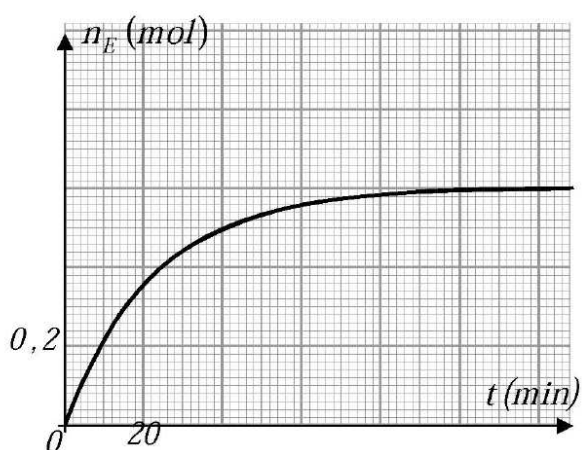
نضع في أرلينة ماير 1 mol من حمض الإيثانويك $\text{CH}_3 - \text{COOH}$ و 1 mol من الكحول $\text{C}_4\text{H}_9 - \text{OH}$. نضيف قطرات من حمض الكبريت المركز ونسد الأرلينة بسدادة متصلة بمبرد، ثم نضعها في حمام مائي درجة حرارته 100°C (الشكل-1).

بعد مدة زمنية من التسخين المرتد، نسكب محتوى الأرلينة في بيشر به ماء مالح، فنلاحظ طفو مادة عضوية.

1- ما دور كل من التسخين المرتد وإضافة حمض الكبريت المركز؟

2- لماذا نستعمل الماء المالح؟

3- إن متابعة كمية مادة الإستر المتشكل n_E بدلالة الزمن مكنتنا من رسم البيان: $n_E = f(t)$ (الشكل-2).



الشكل-2

أ- اكتب معادلة التفاعل الكيميائي النموذج لتحول الأسترة.

ب- هل التحول الكيميائي الحادث تام؟

كيف تتأكد عمليا من ذلك؟

ج- جد سرعة التفاعل في اللحظات:

$$t_1 = 20 \text{ min} ; t_2 = 40 \text{ min} ; t_3 = 60 \text{ min}.$$

ناقش النتائج المتحصل عليها. ماذا تستنتج؟

د- عيّن مردود التحول. هل يمكن تحسينه عند نزع الماء الناتج؟ فسّر ذلك.

هـ- استنتج صنف الكحول المستعمل. اكتب صيغته الجزيئية نصف المفصلة مع تسميته.

أجوبة مختصرة :

1) دور التسخين المرتد هو تكثيف البخار المتصاعد و منع ضياعه فيعود إلى الأرلينة ، الهدف من إضافة حمض الكبريت المركز هو تسريع التفاعل ، 2) نستعمل الماء المالح هو فصل المواد ،

3- أ) معادلة التفاعل : $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_4\text{H}_9\text{OH} = \text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9 + \text{H}_2\text{O}$

ب) $0.6 < \tau_f = 1$ و منه التحول الكيميائي غير تام ، نتأكد عمليا من ذلك بإضافة قطرات من كاشف ملون .

ج) $v(t_1) = 0.008 \text{ mol/min}$ ، $v(t_2) = 0.0035 \text{ mol/min}$ ، $v(t_3) = 0.0020 \text{ mol/L}$. نلاحظ أن

السرعة تتناقص فالتحول بطيء ، د) $r = 60\%$ ، يمكن تحسين مردود التفاعل بنزع الماء الناتج من التحول و

ذلك لجعل التحول يتطور في اتجاه الأسترة ، هـ) صنف الكحول المستعمل ثانوي ، $\text{CH}_3 - \text{CHOH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$ ،

إسمه : بوتان-2-ول .